



Uusiutuva energia Suomessa

Aurinko- ja tuulienergia

Aki Haapatalo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

AKI HAAPATALO:
Uusiutuva energia Suomessa
Aurinko- ja tuulienergia

Opinnäytetyö 76 sivua
Toukokuu 2013

Tässä työssä selvitetään uusiutuvien energialähteiden käyttömahdollisuuksia Suomessa sekä esitellään myös minkälaisia uusiutuvan energian järjestelmiä Tampereen ammattikorkeakoululla on ja mihin niitä käytetään. Työn tarkoituksena on olla apuvälineenä oppilaille sekä opettajille, jotta he pystyisivät perehtymään erilaisiin uusiutuvan energian tekniikoihin ja käyttämään Tampereen ammattikorkeakoulun uusiutuvan energian järjestelmiä hyödyksi opetuksessa.

Työn alussa selvitetään, mitä uusiutuva energia tarkoittaa ja miksi se on niin tärkeä osa Suomen energias strategiaa. Työssä kerrotaan, minkälaisia uusiutuvan energian tuottamistapoja on olemassa ja verrataan muiden maiden järjestelmiä Suomen järjestelmiin. Uusiutuvien energioiden käyttö on esimerkiksi Keski-Euroopassa paljon yleisempää kuin Suomessa, vaikka niillä täällä pystyttäisiinkin tuottamaan lähes saman verran energiaa. Yksi syy uusiutuvien energioiden vähäiseen käyttöön on se, että Suomen valtio ei tue rahallisesti kotitalouksia järjestelmien hankkimisessa, vaan tukea voivat saada ainoastaan yritykset. Tämä saattaa kuitenkin lähivuosina muuttua, sillä Suomen energias strategiaan kuuluu, että uusiutuvan energian osuus Suomen energian tuotosta kasvaisi vuoden 2005 määrästä 9,5 % vuoteen 2020 mennessä, jolloin sen osuus koko energian tuotannosta olisi 38 %. Aurinko- ja tuulienergian käyttö on Suomessa vielä melko vähäistä. Tämän takia työssä keskitytään esittelemään tarkemmin aurinko- ja tuulienergiaa. Kerrotaan minkälaisia aurinko- ja tuulienergiatekniikoita on tällä hetkellä olemassa, kuinka niistä saa energiaa ja mitä se vaatii, sekä selvitetään Suomen sääolosuhteiden vaikutusta näiden energialähteiden hyödyntämiseen. Suomen sääolosuhteet eivät ole parhaat mahdolliset aurinkoenergian tuottamiseen, mutta etenkin kesällä saadaan aurinkoenergiaa hyvin ja siksi aurinkoenergiajärjestelmät ovatkin suosittuja kesämökeillä. Aurinko- ja tuulienergian käyttömahdollisuudet paranevat koko ajan, kun laitteet kehittyvät.

Tampereen ammattikorkeakoululla on käytössään aurinkolämpö- ja aurinkosähkökeräimiä sekä vaaka- ja pystyasentoinen pientuulivoimala. Tyhjiöputkikeräimillä tuotetaan lämpöenergiaa TAMKin kasvihuoneisiin ja vaaka-asentoinen pientuulivoimala tuottaa sähköä verkkoon. Pystyasentoinen pientuulivoimala on kytketty akkujärjestelmään, mutta sitä ei kuitenkaan käytetä tällä hetkellä mihinkään. Olisikin hyvä keksiä sille käyttöä joko opetustarkoitukseen tai esimerkiksi käyttää akun varaus valaistukseen. Hybridikeräin, jolla voidaan tuottaa sekä aurinkosähköä että aurinkolämpöä, on tällä hetkellä korjattavana ja jää nähtäväksi, saadaanko sitä koskaan käyttöön.

Asiasanat: uusiutuva energia, Suomen energias strategia, aurinkoenergia, tuulienergia, tyhjiöputkikeräin, pientuulivoimala, hybridikeräin

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Building Services Engineering
Electric

AKI HAAPATALO:
Renewable Energy in Finland
Solar and Wind Energy

Bachelor's thesis 76 pages
May 2013

This thesis examines the use of the renewable energy sources in Finland. It also demonstrates what sort of renewable energy systems Tampere University of Applied Sciences (TAMK) has and how they are used. The idea of this work is to introduce students and lecturers the different techniques of renewable energy and how to use TAMK's renewable energy systems in teaching.

In the beginning, this thesis examines the meaning of the renewable energy, and why it is an important part of the energy strategic of Finland. This work reveals, what kind of ways there are to produce renewable energy, and compares other countries' system to Finnish system. The use of renewable energy is much more common, for example, in Central Europe than in Finland, though here could be produced almost as much energy. One of the reasons for Finland's lower renewable energy usage is that the state doesn't support financially households in energy system investments. Instead, companies are the only one who could get support from the state. However, there might be a change in this in the near future, because, according to the energy strategy of Finland, the share of the renewable energy in energy produce in Finland would increase from 28 percent in 2005 to 38 percent by 2020. Solar and wind energy use in Finland is still quite a few. This thesis focuses on to introduce more closely solar and wind energy. In addition, this work reveals, what kind of solar and wind energy techniques there now exist, and how we get energy from them, and what it takes. This thesis also figures out, how weather conditions affect the utilization of these energy sources. The Finnish weather conditions aren't the best ones to produce solar energy, but especially in summer we get quite much solar energy, and that's way solar energy systems are popular in summer cottages. The use of solar and wind energy get better all the time because the appliances, of course, develop.

Tampere University of Applied Sciences has solar heating and solar electric collectors and also horizontal and vertical wind power plants in use. With heat pipe collectors TAMK produces heat energy to greenhouses, and the horizontal wind power plant generates electric power to electrical network. The vertical wind power plant is connected to battery system, but it is not used at present. It would be good if somebody invented how it can be used for teaching. Alternatively, the battery can be utilized in lighting. The hybrid collector, which generates solar electricity and heat, is being repaired at the time and we don't know, will it ever be in use again.

Key words: renewable energy, the energy strategic of Finland, solar energy, wind energy, heat pipe collector, small wind power plant, hybrid collector

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Uusiutuva energia.....	7
2.1	Mitä on uusiutuva energia?.....	7
2.1.1	Suomen energiastrategia	8
2.1.2	Uusiutuvan energian käyttö Suomessa	10
2.1.3	Uusiutuvan energian syöttötariffi.....	11
2.2	Aurinko ja tuuli.....	12
2.2.1	Mitä tuuli on?	13
2.2.2	Miten tuulesta saa energiaa?	17
2.2.3	Aurinko	19
2.2.4	Auringonsäteilyä vastaanottavan tason suuntaus ja kallistus.....	25
3	Tuuli- ja aurinkoenergia	29
3.1	Tuulivoimalat.....	29
3.2	Aurinkosähkö.....	42
3.2.1	Aurinkosähköjärjestelmät	44
3.2.2	Aurinkopaneelit.....	44
3.3	Aurinkolämpö	50
3.3.1	Aurinkokeräimet	52
3.3.2	Tyhjiöputkikeräimet.....	54
3.3.3	Hybridikeräimet	57
4	Tampereen ammattikorkeakoulun uusiutuvan energian järjestelmät.....	59
4.1	Pystyasentoinen pientuulivoimala	59
4.2	Vaaka-asentoinen pientuulivoimala.....	60
4.3	Hybridikeräin	64
4.4	Tyhjiöputkikeräimet.....	66
4.5	Yhteenveto	67
5	POHDINTA.....	69
	LÄHTEET.....	71

LYHENTEET JA TERMIT

Tuulipuisto	Tuulipuistoksi kutsutaan aluetta, jolla on useita toisiinsa liitettyjä tuulivoimaloita ja jotka kytkeytyvät yhtenä kokonaisuutena sähköverkkoon.
Voimalan vuosituotto	Voimalan vuodessa tuottama energiamäärä. Yksikkönä käytetään esimerkiksi kWh/vuosi, MWh/vuosi tai GWh/vuosi.
EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto.
NREAP	National Renewable Energy Action Plan. Uusiutuvan energian kansallinen toimintasuunnitelma.
Motiva	Motiva Oy tuottaa ja tarjoaa yrityksille, julkishallinnolle sekä kuluttajille tietoa ja ratkaisuja, joiden avulla he voivat tehdä energia- ja materiaalitehokkaita ja kestäviä valintoja. Suomen valtio omistaa Motiva Oy:n.
rpm	Kierrosta minuutissa.

1 JOHDANTO

Uusiutuvien energioiden käyttäminen yleistyy jatkuvasti koko maailmassa. Uudenlaisia järjestelmiä valmistuu koko ajan lisää ja vanhoja malleja kehitetään tehokkaammiksi. Valtiot kasvattavat uusiutuvien energioiden käyttöä ja suunnittelevat pitkän aikavälin tähtäimiä, joilla taistella kasvihuoneilmiötä vastaan sekä ehkäistä uusiutumattomien luonnonvarojen vähenemistä. Myös energian omatuotanto on kasvanut, etenkin muissa maissa, mutta myös Suomessa. Nykyisin uusiin rakennuksiin suunnitellaan usein myös järjestelmiä, joilla voidaan itse tuottaa energiaa.

Auringosta ja tuulesta saadaan nykyisillä järjestelmillä jo paljon energiaa talteen, vaikka hyötysuhde onkin vielä matala. Tulevaisuudessa järjestelmät kehittyvät ja silloin aurinko- sekä tuulienergia voivat olla ratkaisu ihmiskunnan kaikkiin energiaongelmiin. Suomessa ei ole niin hyvät sääolosuhteet aurinkoenergian tuottamiseen kuin Etelä-Euroopassa ja päiväntasaajalla, mutta aurinkoenergia on silti hyvä lisä energian tuotantoon myös täällä.

Tampereen ammattikorkeakoulu on aloittanut ”Opi enempi” –hankkeen, jonka tarkoituksena on kasvattaa opiskelijoiden tietoutta uusiutuvista energialähteistä. Työssä esitellään TAMKin aurinko- ja tuulienergia-järjestelmät sekä selvitetään laitteiston nykyisiä käyttötarkoituksia. Työn tavoitteena on selvittää, mitkä mahdollisuudet Suomessa on aurinko- ja tuulienergian hyödyntämiseen, sekä kartoittaa mitä aurinko- ja tuulienergiajärjestelmiä TAMKissa on ja mihin niitä käytetään.

2 Uusiutuva energia

Uusiutuva energia määritellään niin, että energian lähdettä voidaan pitää loppumattomana inhimillisillä mittasuhteilla mitattuna. Uusiutuvista energialähteistä ei vapaudu ilmaan lainkaan kasvihuonekaasuja, lukuun ottamatta bioenergiaa. Suomen energiastrategiaan kuuluu uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvattaminen noin 40 prosenttiin Suomen energian tuotannosta vuoteen 2020 mennessä.

Aurinko- ja tuulienergian käyttäminen ei ole Suomessa vielä niin yleistä kuin muualla maailmassa, mutta niiden käyttö lisääntyy koko ajan. Auringossa ja tuulella on suuri potentiaali energianlähteeksi, sillä esimerkiksi yhden tunninkin aikana aurinko säteilee maapallolle enemmän energiaa kuin kaikki ihmiset kuluttavat vuodessa.

2.1 Mitä on uusiutuva energia?

Uusiutuvaksi energiaksi kutsutaan energiamuotoja, joissa primäärienergian lähdettä voidaan pitää loppumattomana inhimillisillä mittasuhteilla mitattuna. Tällaisia ovat tuuli-, vesi-, aurinko- ja bioenergia, maaperän geometrisestä lämmöstä sekä ilman varastoimasta lämmöstä, aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia. Bioenergiassa auringon energia on ensin sidottu yhteyttämisen avulla kasvimassaan ja siitä tuotettu kasvusto käytetään energialähteenä (kuva 1.). Bioenergiaa ovat peltobiomassat, biokaasu, puuperäiset polttoaineet ja kierrätyspolttoaineiden biohajoavaosa. Vuorovesi- ja aaltoenergian tuotannolle ei ole sopivia olosuhteita Suomessa, eikä niillä sen takia ole käyttöä energiantuotannossamme. (Motiva 2013, Uusiutuva energia, luettu 22.1.2013; Ilmasto-opas 2013, Uusiutuva energia Suomessa, luettu 5.2.2013)



Kuva 1. Bioenergiassa auringon energia on ensin sidottu yhteyttämisen avulla kasvi-massaan ja siitä tuotettu kasvusto käytetään energialähteenä.

(<http://ambientalsustentavel.org/2011/avancos-em-bioenergia/> liitetty 17.4.2013)

Uusiutuvista energialähteistä ei bioenergiaa lukuun ottamatta vapaudu ilmaan lainkaan kasvihuonekaasuina tunnettuja metaani-, dityppioksidi- ja hiilidioksidipäästöjä. Myös vesivoiman tuotannossa tekoaltaiden pohjilta vapautuu pieniä määriä hiilidioksidia ja metaania. Hiilidioksidipäästöjen, jotka vapautuvat biopolttoaineiden hyödyntämisessä, lasketaan olevan osa luonnon omaa hiilen kiertoa, joten tästä syystä niiden ei katsota vaikuttavan lisäävästi kasvihuoneilmiöön. Jos biomassaa käytetään saman verran kuin sitä syntyy, luonnon hiilen tasapaino säilyy. Kaikkea uusiutuvaa energiaa pidetään tämän takia ilmastoneutraalina energiamuotona. Koska turvebiomassan uusiutuminen vie tuhansia vuosia, tasapainon ei katsota säilyvän ja sitä ei sen takia lasketa uusiutuvaksi energialähteeksi. Tämän takia turpeen käyttämistä pyritään korvaamaan Suomessa metsähakkeella. (Ilmasto-opas 2013, Uusiutuva energia Suomessa, luettu 5.2.2013)

2.1.1 Suomen energiasstrategia

Suomen energiantuotosta noin neljännes tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä. Suomi on Euroopassa yksi kärkimaista uusiutuvan energian käytössä puunjalostusteollisuuden puun ja jäteliemien energiahyödyntämisen ansiosta. Suomessa vesivoimalla tuotetaan

noin 5 % energiasta. Tuulivoiman osuus Suomessa on tähän asti ollut vain 0,1 %, mutta sen lisääminen on keskeinen tavoite. (Ilmasto-opas 2013, Uusiutuva energia Suomessa, luettu 5.2.2013)

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on keskeinen syy uusiutuvan energian käytön lisäämiselle. Uusiutuvilla energialähteillä katsotaan myös olevan merkitystä seuraavilla Suomen energiastrategian toimenpidealueilla: bioenergian ja muun kotimaisen energian käytön edistäminen, tuotekehitykseen ja tutkimukseen panostaminen sekä energiasektorin huoltovarmuuden ylläpitäminen. (Motiva 2013, Uusiutuva energia, 22.1.2013)

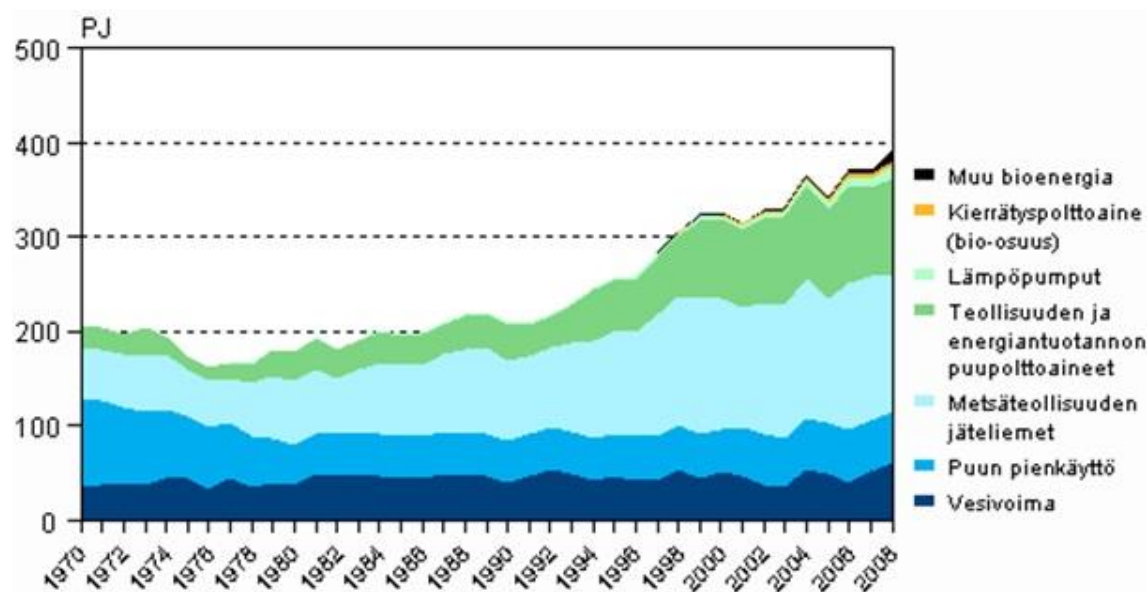
Uusiutuvan energian käyttöön vaikuttavat Suomen omat energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset sekä EU:ssa tehdyt päätökset ja direktiivit, jotka Suomen on otettava huomioon energiapolitiikassaan. Tällainen direktiivi on muun muassa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtäävä päästäkauppadirektiivi. (Motiva 2013, Uusiutuva energia, 22.1.2013)

Valtioneuvosto hyväksyi 6.11.2008 uuden pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian. Siinä käsitellään ilmasto- ja energiapolitiittisia toimenpiteitä yksityiskohtaisesti vuoteen 2020 asti ja viitteenomaisesti aina vuoteen 2050 asti. Uusiutuvan energian käyttöä pyritään lisäämään nykyisestä ilmasto- ja energiastrategian tavoitteiden mukaisesti. Tavoitteena on, että uusiutuvan energian osuus Suomen energiantuotannossa kasvaisi 9,5 % vuoden 2005 tasosta (noin 28 %) vuoteen 2020 mennessä, jolloin niiden osuus olisi 38 prosenttia koko Suomen energiantuotannosta. (Motiva 2013, Uusiutuva energia, 22.1.2013)

Jokaisen Euroopan unionin jäsenmaan tuli toimittaa kansallinen uusiutuvan energian toimintasuunnitelma (National Renewable Energy Action Plan, NREAP) 30.6.2012 mennessä. Suunnitelmassa esitetään arviot energian loppukulutuksesta vuosina 2010–2020, kehitysnäkökuilista uusiutuvan energian parissa sekä poliittisista tukitoimenpiteistä ja uusiutuvan energian tavoitteista. Energian loppukulutuksen lisäksi suunnitelmassa on arvioitu 2020 sähköntuotannon, liikenteen sekä lämmityksen ja jäähdytyksen uusiutuvan energian osuudet. (Motiva 2013, Uusiutuva energia, 22.1.2013)

2.1.2 Uusiutuvan energian käyttö Suomessa

Suomen vuosittainen energian kokonaiskulutus on 2000-luvulla vaihdellut noin 1 300-1 500 petajoulen (PJ) välillä. Esimerkiksi vuonna 2007 kokonaiskulutus oli 1 460 PJ. Uusiutuvan energian osuus Suomen energian tuotannosta on viimeisten vuosikymmenten aikana kasvanut merkittävästi (kuvio 1.). Vuoden 2008 loppuun mennessä se oli jo 360 PJ. Metsäteollisuuden jäteliemet ovat merkittävin uusiutuva energianlähde Suomessa ja niiden osuus on yli kolmannes Suomen uusiutuvien energialähteiden käytöstä. Niistä tuotettu energia tosin käytetään lähinnä paperin- ja sellunvalmistuksessa. Kun huomioidaan myös puun pienkäyttö, voidaan todeta metsästä peräisin olevan uusiutuvan energian muodostavan yli puolet Suomen uusiutuvan energian käytöstä. Vielä vähäisiä, mutta merkitykseltään kasvavia energialähteitä ovat asumisen ja tuotantotoiminnan jätteistä jalostetut kierrätyspolttoaineet ja maalämmöllä, aurinkoenergialla tai ilman sisältämällä lämpöenergialla toimivat lämpöpumput sekä tuulivoima. (Ilmasto-opas 2013, Uusiutuva energia Suomessa, luettu 5.2.2013)



Kuvio 1. Suomen uusiutuvien energialähteiden käyttö vuosina 1970 – 2008. Tilastokeskus 2009. (<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html> liitetty 9.2.2013)

2.1.3 Uusiutuvan energian syöttötariffi

Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotannosta voi saada tuotantotukea Suomen valtiolta. Laissa (1396/2010) säädetään syöttötariffijärjestelmä, jonka mukaan tukea voidaan hyväksyä saamaan säädetyt edellytykset täyttävät biokaasuvoimalat, metsähakevoimalat, puupolttoainevoimalat ja tuulivoimalat. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, Uusiutuvan energian syöttötariffi, luettu 5.2.2013)

Syöttötariffijärjestelmässä sähkön tuottajalle maksetaan enintään kahdentoista vuoden ajan päästöoikeuden markkinahinnan tai sähkön markkinahinnan mukaan muuttuvaa tukea (syöttötariffi). Tämä kuitenkin edellyttää, että sähkön tuottajan voimalaitos on hyväksytty järjestelmään. Pieniä voimalaitoksia ei syöttötariffijärjestelmään hyväksytä, sillä liityntätehon on oltava vähintään 500 kW ja sähkön laadussa ei saa olla suuria vaihteluita. Sähkön tuottajalle maksetaan syöttötariffina tavoitehinnan ja kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan erotus tuotetun sähkön määrän mukaisesti. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, Uusiutuvan energian syöttötariffi, luettu 5.2.2013)

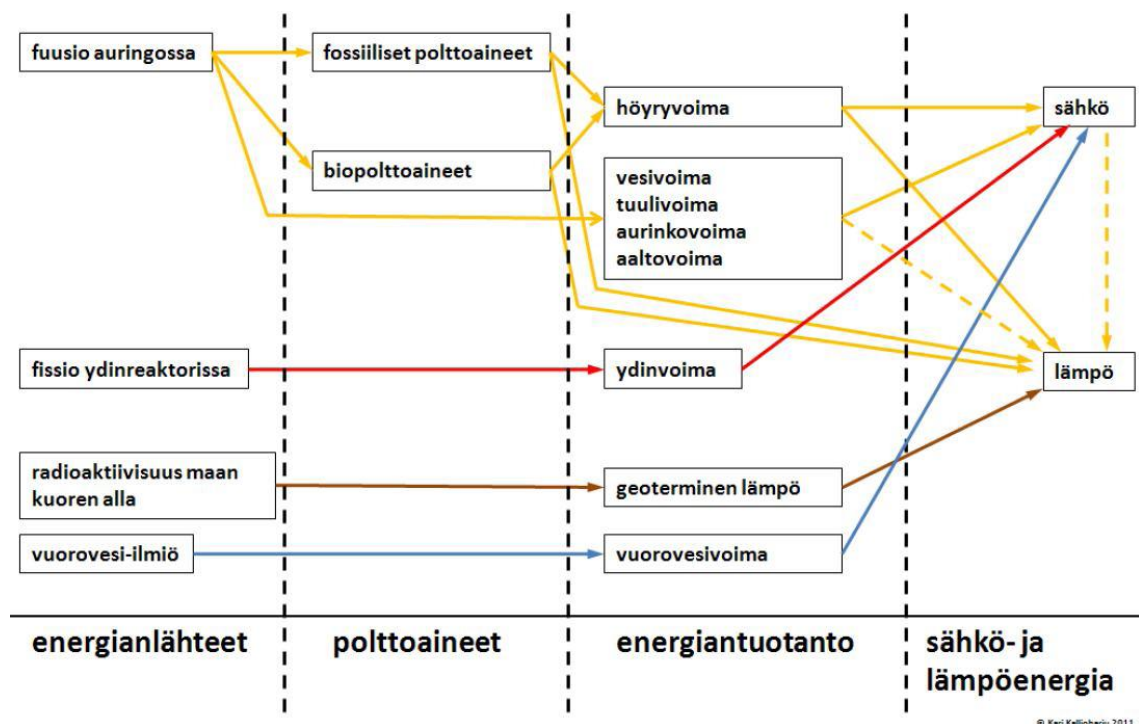
Jos biokaasu- tai puupolttoainevoimalassa sähkön tuotosta tulevaa lämpöä tuotetaan hyötykäyttöön ja voimalan kokonaishyötysuhde on vaaditun mukainen, maksetaan sille syöttötariffin korotuksena vakiona pysyvää lämpöpreemiota. Kyseisen tuen tarkoitus on edistää puupolttoainevoimala-, biokaasuvoimala- ja tuulivoimalainvestointeja. Tuki on mitoitettu siten, että voimalaitokselle syöttötariffijaksoilta maksettavien tukien kokonaismäärä kompensoi investointikustannuksia. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, Uusiutuvan energian syöttötariffi, luettu 5.2.2013)

Metsähakevoimalassa, joka kuuluu syöttötariffijärjestelmään, tuotetusta sähköstä maksetaan syöttötariffia siten, että metsähakkeen käyttö polttoaineena turpeen sijaan yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa säilyisi kilpailukykyisenä.

Energiamarkkinavirasto hyväksyy voimalaitoksen syöttötariffijärjestelmään. Energiamarkkinavirasto myös maksaa hakemuksesta syöttötariffin sekä hoitaa muut syöttötariffijärjestelmän viranomaistehtävät. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, Uusiutuvan energian syöttötariffi, luettu 5.2.2013)

2.2 Aurinko ja tuuli

Lähes kaikki uusiutuvat luonnonvarat, jopa fossiiliset polttoaineet, ovat peräisin auringosta (kuvio 2.). Auringon säteilyn teho ilmakehän ulkoreunalla on suuruusluokaltaan noin $1\,370\text{ W/m}^2$. Lähes puolet aurinkoenergiasta sitoutuu lämpönä meriin ja maanpintaan, josta se sitten heijastuu takaisin avaruuteen pitkäaaltoisena lämpösäteilynä. Toinen puoli auringosta tulevasta energiasta kuluu ns. hydrologisen kierron ylläpitämiseen. Osa tästä kierrosta hyödynnetään vesivoimana. Pieni osa (noin 9 kertaa maailman energiankulutus) aurinkoenergiasta sitoutuu fotosynteesiin eli puu- ja kasvimassaan. Osa tästä voidaan hyödyntää bioenergiana. Noin kahdesta kolmeen prosenttia auringosta tulevasta energiasta muuttuu liike-energiaksi, eli tuuleksi. Se on noin 40-kertainen energiamäärä verrattuna maailman tämänhetkiseen energiankulutukseen. (Tuulivoimatieto 2013, Mitä tuuli on, luettu 1.3.2013)



Kuvio 2. Energialähteiden vaikutus sähkö- ja lämpöenergian tuotantoon. (Kari Kallioharjun luentomateriaali, liitetty 18.4.2013)

2.2.1 Mitä tuuli on?

Tuuli on ilmakehässä liikkuva maanpinnan suuntainen ilmavirtaus. Tuulen syntymiseen vaikuttaa maapallon epätasainen jäähtyminen ja lämpeneminen. Auringon säteily vaimenee ilmakehässä ja lähellä napa-alueita säteily kulkee pitemmän matkan ilmakehässä kuin päiväntasaajalla. Tästä syystä säteily vaimenee sitä enemmän, mitä lähemmäksi napa-aluetta tullaan. Myös eri leveysasteilla aurinko lämmittää maanpintaa eri tavoin. Maapallon muodosta, sekä maapallon ja auringon keskinäisestä sijainnista johtuen lähellä päiväntasaajaa olevat alueet saavat huomattavasti enemmän auringon säteilyä kuin napa-alueet. Epätasaisen lämpenemisen vaikutuksesta maapallo toimii siis kuin lämpöpumppu, siirtäen viileämpää ilmaa päiväntasaajan suuntaan ja lämmintä ilmaa napa-alueille. Paikalliseen tuuleen ja tuulisuuteen vaikuttavat monet eri mittakaavan tekijät, kuten suuren mittakaavan säähäiriöt, esimerkiksi matalapaineet, maasto ja maastonmuodot, maaston peitteisyys ja maa – meri lämpötilavaihtelut. (Tuulivoimatieto 2013, Mitä tuuli on, luettu 1.3.2013)

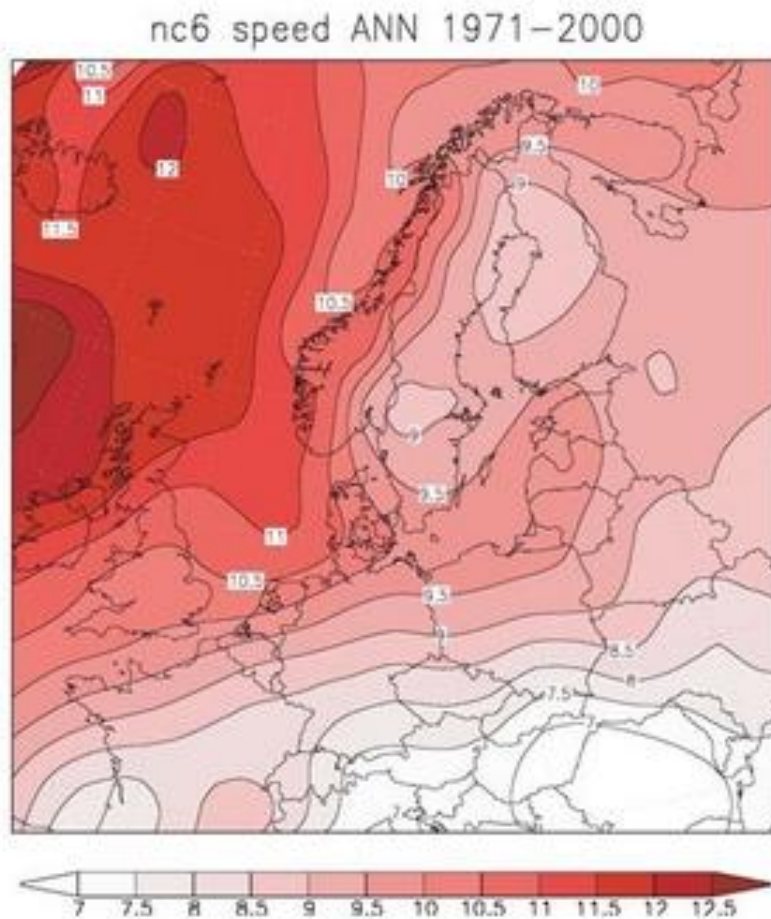
Tuuliasteikot (taulukko 1.) ja tuulen mittaaminen on sovittu kansainvälisesti. Perinteisesti tuulta on mitattu kymmenen minuutin keskiarvona, jonka ansiosta yksittäisten puuskien vaikutus on pieni. Maa-alueilla juuri tuulenpuuskat aiheuttavat vahinkoja ja siksi ne ovat nykyisin käytössä maa-alueiden tuulivaroituksissa. Tuulen nopeudella ja ilmanpaineella on yhteys, sillä mitä nopeammin ilmanpaine muuttuu (nousee tai laskee) lyhyellä matkalla siirryttäessä pisteestä A pisteeseen B, sitä voimakkaammin tuulee. Tämä näkyy sääkartalla siten, että mitä lähempänä isobaarit (saman ilmanpaineen käyrät) ovat toisiaan, sitä enemmän tuulee. Kaikkein voimakkaimmat tuulet ovat lähellä säärintamia ja matalapaineen keskusta, mutta eivät kuitenkaan aivan keskuksessa. (Ilmatieteenlaitos 2013, Tuulet ja myrskyt, luettu 3.3.2013)

Taulukko 1. Tuuliasteikko kymmenen minuutin keskituulen nopeuksille

Tuulen nopeus (m/s)	Nimitys
0	Tyyntä
1–3	Heikkoa tuulta
4–7	Kohtalaista tuulta
8–13	Navakkaa tuulta
14–20	Kovaa tuulta
21–32	Myrskyä
yli 32	Hirmumyrsky

Tuulivoimalaa suunniteltaessa on tärkeää tietää, missä tuulee. Yksi hyvä apuväline tähän on Suomen tuuliatlas (www.tuuliatlas.fi). Se on tuulienergiakartasto, jonka avulla voidaan arvioida mahdollisuuksia tuottaa tuulen avulla sähköä. Sen avulla voidaan vertailla tuuliolojen vuotuista ja kuukausittaista vaihtelua joko tietyillä rajatuilla alueilla (kaupunki) tai koko Suomessa. Tuulienergiakartaston pohjana on numeerinen säämalli. Säämallilla on simuloitu 72 kuukauden todelliset säätilanteet. Tuuliatlas edustaa hyvin aikavälin 1989–2007 keskimääräisiä tuulioloja, sillä tuona aikana tuulioloissa ei ole ollut merkittäviä muutoksia. Tuuliatlaksen tarkoituksena on olla apuna juuri tuulivoiman suunnittelussa ja se ei ole voittoa tavoitteleva sivusto, sillä Tuuliatlaksen on tilannut työ- ja elinkeinoministeriö. Ilmatieteen laitos tuotti sen yhteistyössä tanskalaisen Risö DTU:n kanssa. Tuuliatlas julkistettiin 25.11.2009 ja sitä koordinoi Motiva. (Tuuliatlas 2011, Tuuliatlas- ja tuulitiedot Suomen kartalla, luettu 12.3.2013)

Suomessa tuulee eniten talvikuukausina ja selvästi vähemmän kesäkuukausina. Suomen tuulioloihin vaikuttaa merkittävästi Atlantilta suuntautuvat matalapaineet ja niiden kulkeumat reitit sekä maantieteellinen sijainti. Näistä johtuen suuren mittakaavan keskimääräinen tuulennopeus kilometrin korkeudessa on huomattavasti suurempi kuin eteläisemmässä Euroopassa, mutta toisaalta pienempi kuin lähempänä pohjoista Atlanttia sijaitsevilla Brittein saarilla, Norjan rannikolla tai Tanskassa ja Pohjanmeren rannikolla (kuva 2.). (Tuuliatlas 2013, Tuulisuus Suomessa, luettu 12.3.2013)



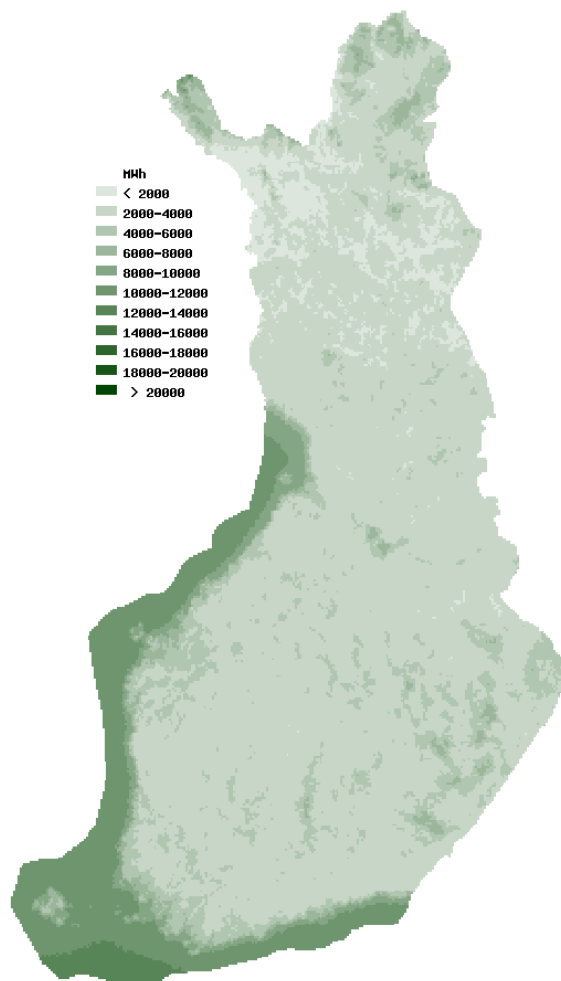
Kuva 2. Keskimääräisen tuulennopeuden jakauma Euroopassa vuosina 1971–2000.

Kuvassa ilmanpaine kentästä laskettu geostrofinen tuuli (m/s).

(<http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html> liitetty 12.3.2013)

Suomen ilmastolle on tyypillistä ihmisen havaintokorkeudella ja tavallisten sääasemien tuulimittarin sijoituskorkeudella olevan tuulen nopeuden selvät vaihtelut vuodenajoin rannikolla, tuntureilla ja merialueilla. Sisämaassa taas tuulen kuukausittainen keskinopeus vaihtelee varsin vähän ja sääasemilla mitattu tuulen vuotuinen keskinopeus on huomattavasti pienempi kuin merisääasemilla mitattu. Tuulen nopeus kasvaa korkeuden kasvaessa ja nopeuden kasvu riippuu myös maaston korkeuseroista, maaston rosoisuudesta (z_0) ja ilman termisestä tasapainotilasta. Tuulen nopeuden muutos korkeussuunnassa on rajakerroksessa huomattavasti suurempi metsämaastossa kuin avoimella merialueella. Toisaalta Lapissa talvikuukausina nopeuden muutos on huomattavasti suurempi kuin etelä-rannikolla, johtuen suuremmasta pintainversioiden, eli termisesti stabiilien tilanteiden, määrästä. Rajakerroksen yläosissa nopeuden muutokseen voi vaikuttaa myös ilmakehän suihkuvirtaus. (Tuuliatlas 2013, Tuulisuus Suomessa, luettu 12.3.2013)

Tuuliatlaksen internet – sivuilla on esitetty tuulivoimalan tuotantokartat, jotka kuvaavat nimellisteholtaan 3MW:n tuulivoimalan vuosittaisen energiantuotannon (MWh), joka on laskettu säämallilla eri korkeuksille tuotetun tuulen nopeuden (m/s) jakaumasta (kuva 3.) Kartat esittävät tuulivoimalan kuukausittaista ja vuotuista keskimääräistä tuotanjakaumaa eri korkeuksilla (50 m, 100 m ja 200 m). Tuulen nopeuden oletetaan vastaavan tuulta voimalan napakorkeudella, ja tuulen nopeus oletetaan vakioksi koko roottorin pyyhkäisypinta-alalla. Laskennassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon ilman tiheyden vaikutusta voimalan tehoon ja energiantuotantoon. Tuulivoimalan suorituskyky eli tehokäyrä (napakorkeuden tuulen nopeus vastaan voimalan tuottama teho) laaditaan vastaamaan yleensä niin sanottuja standardi-ilmakehän oloja. Tällöin lämpötila on +15 °C, ilmanpaine 1013,25 hPa ja ilman tiheys 1,225 kg/m³. Tuuliatlaksen käyttämä esimerkivoimalana on käytetty WinWind WWD-3 tuulivoimalaa. Tuulivoimalalle annetun tehokäyrän avulla laskettu tuotettu energia (MWh/v) tai (MWh/kk) ei kuitenkaan täysin vastaa voimalan todellisuudessa tuottamaa energiaa, koska todellinen teho vaihtelee annetun tehokäyrän lukemien suhteen. (Tuuliatlas 2013, Tuulivoimalan tuulikartat, luetu 12.3.2013)



Kuva 3. Vuoden keskimääräinen tuotto Suomessa 50 metrin korkeudessa 3 MW:n suur-tuulivoimalalla. (<http://www.tuuliatlas.fi/teho/index.html?Month=13&Level=50> liitetty 12.3.20123)

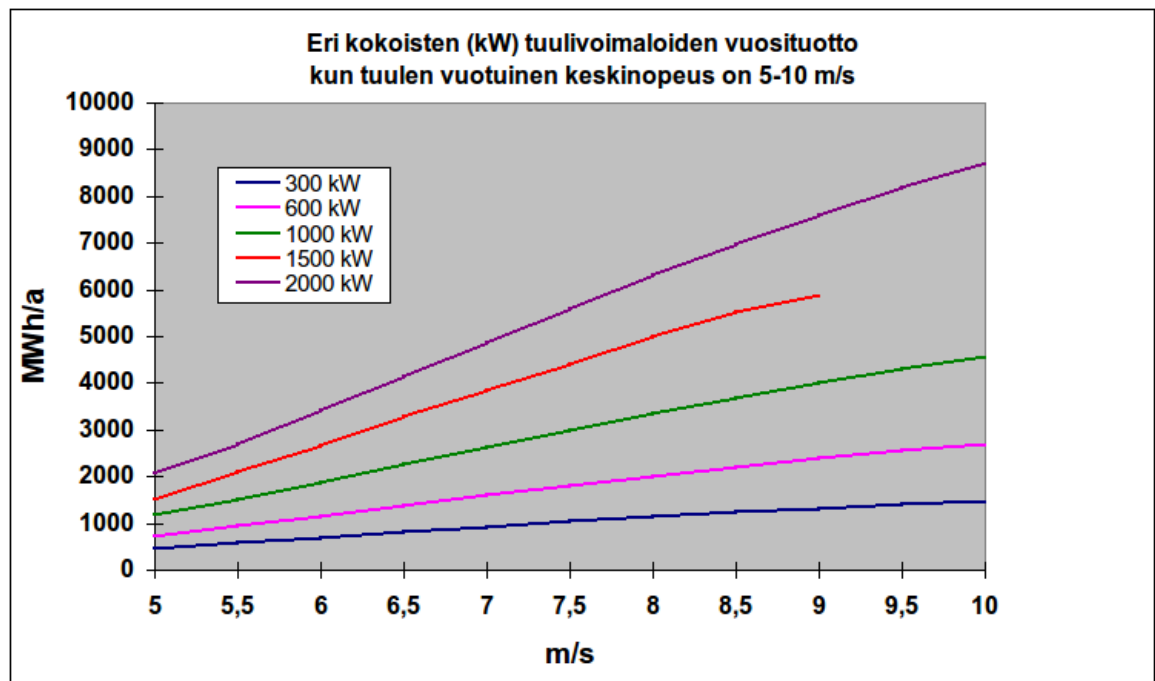
2.2.2 Miten tuulesta saa energiaa?

Tuulivoima on tuulen eli ilman virtauksen liike-energian muuntamista tuuliturbiineiden avulla sähköenergiaksi. Suurimmassa osassa nykyaikaisia tuulivoimaloita pyörivien lapojen liike-energia muutetaan sähkövirraksi ja menetelmä on samankaltainen kuin vanhemmissa tuulimyllyissä, joissa tuulen liike-energiaa käytetään esimerkiksi veden pumppaamiseksi maasta tai jyvien jauhamiseksi. (Tuulivoimayhdistys 2013, Tuulivoima, luettu 26.3.2013)

Käynnistyäkseen tuulivoimala tarvitsee yleensä vähintään 3 m/s tuulennopeutta. Riippuen voimalan mallista, tuulen nopeuden ollessa 13–14 m/s voimala saavuttaa nimellis-

tehonsa. Vaikuttavia asioita ovat voimalan koko (siiven pituus), siipien määrä ja siipien asento (vaaka- vai pystyasento). Nimellistehosta aina 25 m/s tuulennopeuteen saakka voimala tuottaa vakiotehon. Parhaita paikkoja tuulivoimaloille ovat merialueet, merten rannikot, aukeat mereen rajoittuvat pellot tai suurten mäkien laet ja rinteet, joissa tuulen keskinopeus on 5,5–7,5 m/s. Sisämaassa keskituulennopeus on noin 5 m/s (myös Tampereella). (Tuulivoimayhdistys 2013, Tuulivoima, luettu 26.3.2013)

Tuulivoimalan tuottama energia riippuu merkittävästi tuulivoimalan lapojen piirtämällä alueella vallitsevasta tuulen nopeudesta ja tuulen nopeuden jakaumasta. Tästä syystä voimalan sijoittelua suunniteltaessa on pyrittävä löytämään mahdollisimman tuulinen paikka. Tuulen nopeuden vertikaalista muutosta käsiteltäessä voi todeta, että keskimäärin tuulen nopeus kasvaa ylöspäin mentäessä tuulivoimaloiden kannalta merkittävässä korkeuksissa, eli voimalan tornin korkeutta lisäämällä päästään suurempiin tuulen nopeuksiin. Tästä syystä voimaloista on tehty viimeisten vuosikymmenien aikana korkeampia. Kuviossa 3. on esitetty tyypillisten erikokoisten 3-lapaisten tuulivoimaloiden vuotuista energiatuotantoa (MWh/vuodessa) voimalan napakorkeudella vallitsevan vuotuisen keskinopeuden (m/s) funktiona. Laskennassa tuulen nopeuden jakauman oletetaan noudattavan Reyleugh-jakaumaa. Kuvioista 3. voidaan todeta, että suuret voimalat nelinkertaistavat tuotantonsa (MWh/a) tällä nopeusalueella, kun tuulen keskinopeus kasvaa kaksinkertaiseksi. Kun keskinopeus nousee suureksi, kasvaa myös ylisuurten tuulennopeuksien (yli 25 m/s) todennäköisyys. Tällöin voimalan seisonta-aika vastaa-vasti kasvaa. Isojen voimaloiden tyypillinen toiminta-alue on tuulen nopeuksilla 5-25 m/s. Sitä kovemmilla ja heikommilla tuulilla voimalat eivät tuota energiaa. (Tuulivoimatieto 2013, Tuulivoimatuotanto, 26.3.2013)



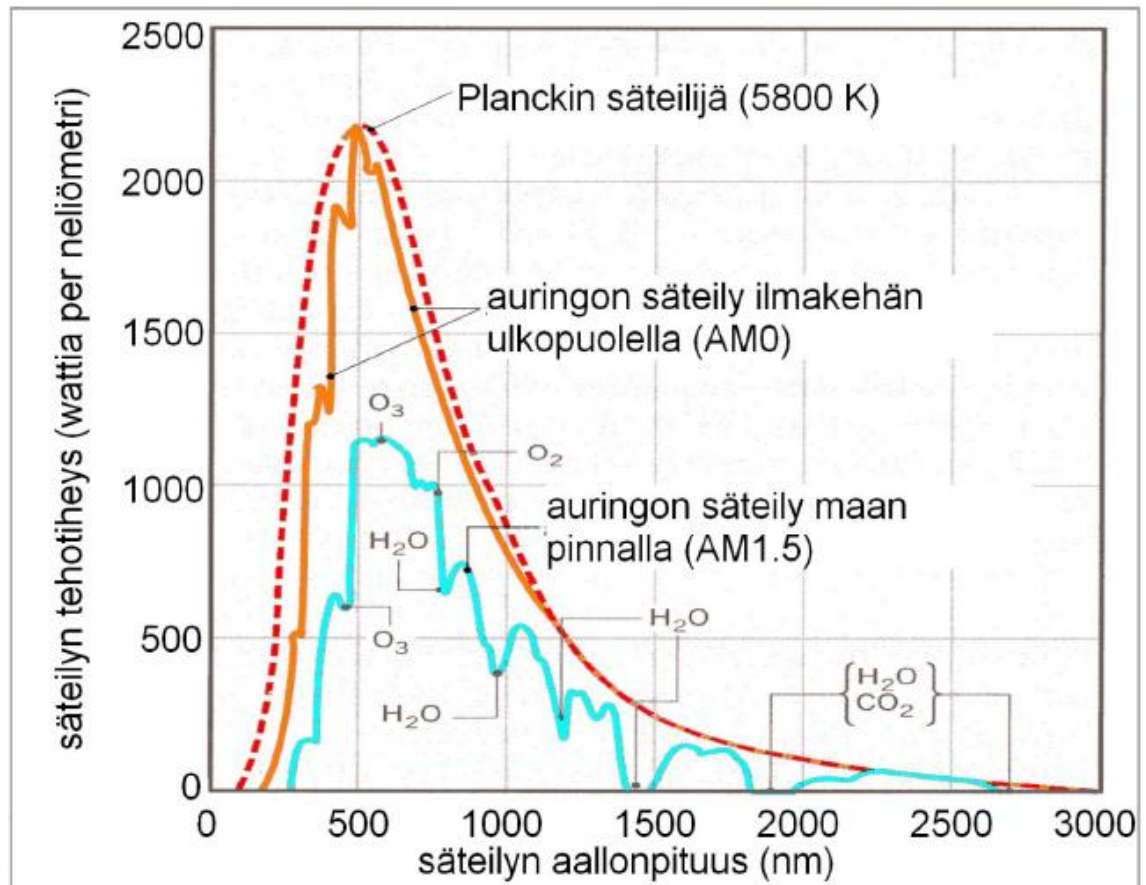
Kuvio 3. Eri kokoisten suurtuulivoimaloiden vuosituotto.

(<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatuotanto> liitetty 26.3.2013)

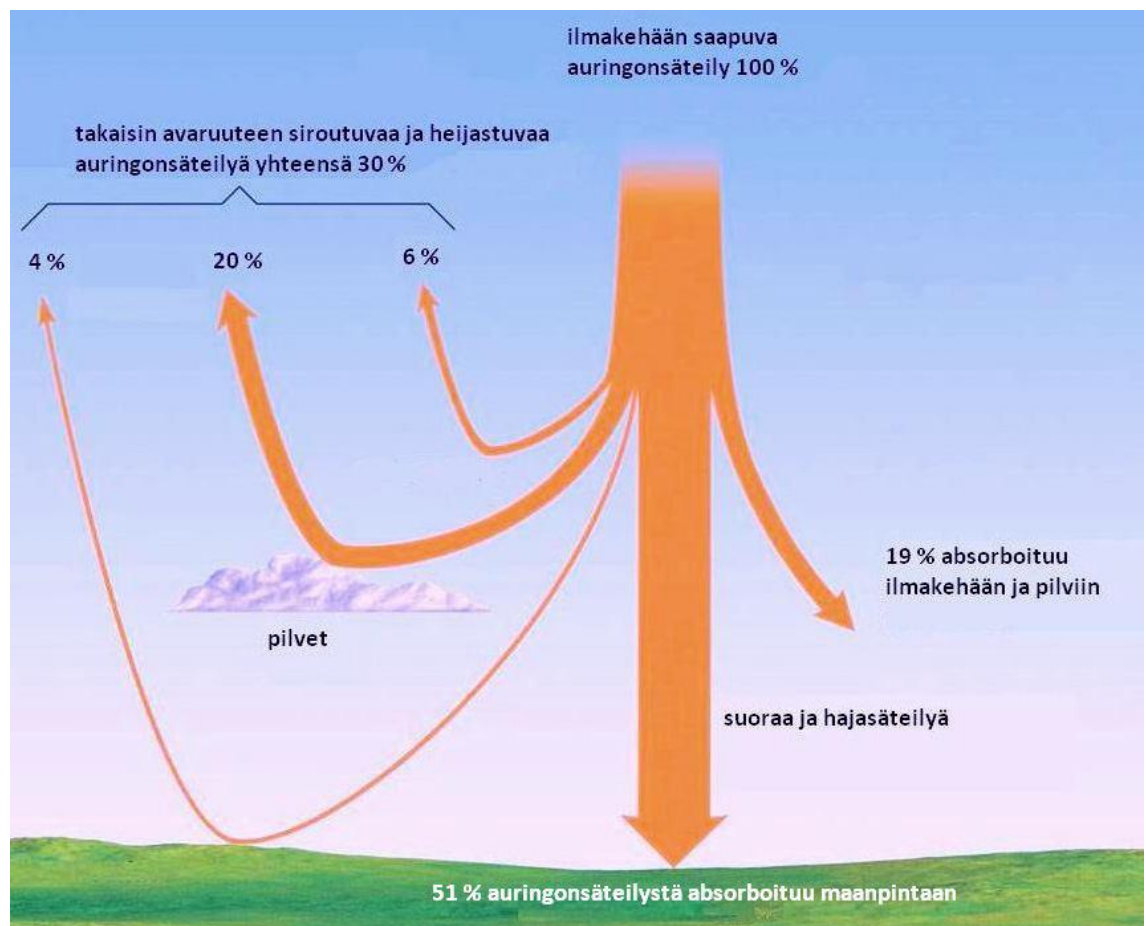
2.2.3 Aurinko

Aurinko on tähti, joka tiivistyi noin viisi miljardia vuotta sitten tähtienvälisen aineen pilvistä ja sen elinikä on arvioiden mukaan jäljellä vielä toiset viisi miljardia vuotta. Aurinko on kaasupallo, jonka pintakerroksissa on heliumia (27 %), vetyä (71 %) ja muita aineita (2 %). Auringon kuoressa on lukuisia erilaisia kemiallisia yhdisteitä ja muita alkuaineita. Auringon energia tulee fuusioista eli lämpödynreaktioista. Fuusiossa neljästä vetyatomista muodostuu yksi heliumatomi. Fuusioista ylijäänyt massa muuttuu osittain energiaksi. Kymmenen miljoonan asteen lämpötilassa tapahtuvat fuusiot tuottavat auringolle $3,846 \times 10^{23}$ kW ominaistehon. Tästä energiasta maapallolle säteilee $1,7 \times 10^{14}$ kW, joka on noin 20 000 kertaa enemmän kuin ihmiskunnan tämänhetkinen energiankulutus. Yhden tunninkin aikana aurinko säteilee maapallolle enemmän energiaa kuin kaikki ihmiset kuluttavat vuodessa. Auringon energia on säteilyn valo- ja lämpöenergiaa. Säteily sisältää koko sähkömagneettisen säteilyn spektrin (kuvio 4.). Energiasta noin 19 prosenttia imeytyy ilmakehään ja lisäksi pilvet estävät säteilyn pääsyä maahan (kuva 4.). Keväällä, kesällä ja syksyllä pilvettömältä taivaalta paistavan auringon teho on maan pinnalla noin 1000 W/m^2 . Keski- ja Etelä-Suomessa aurinko säteilee noin $950\text{--}1100 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa (kuva 5.). Keski-Euroopassa saatava aurinkoenergian mää-

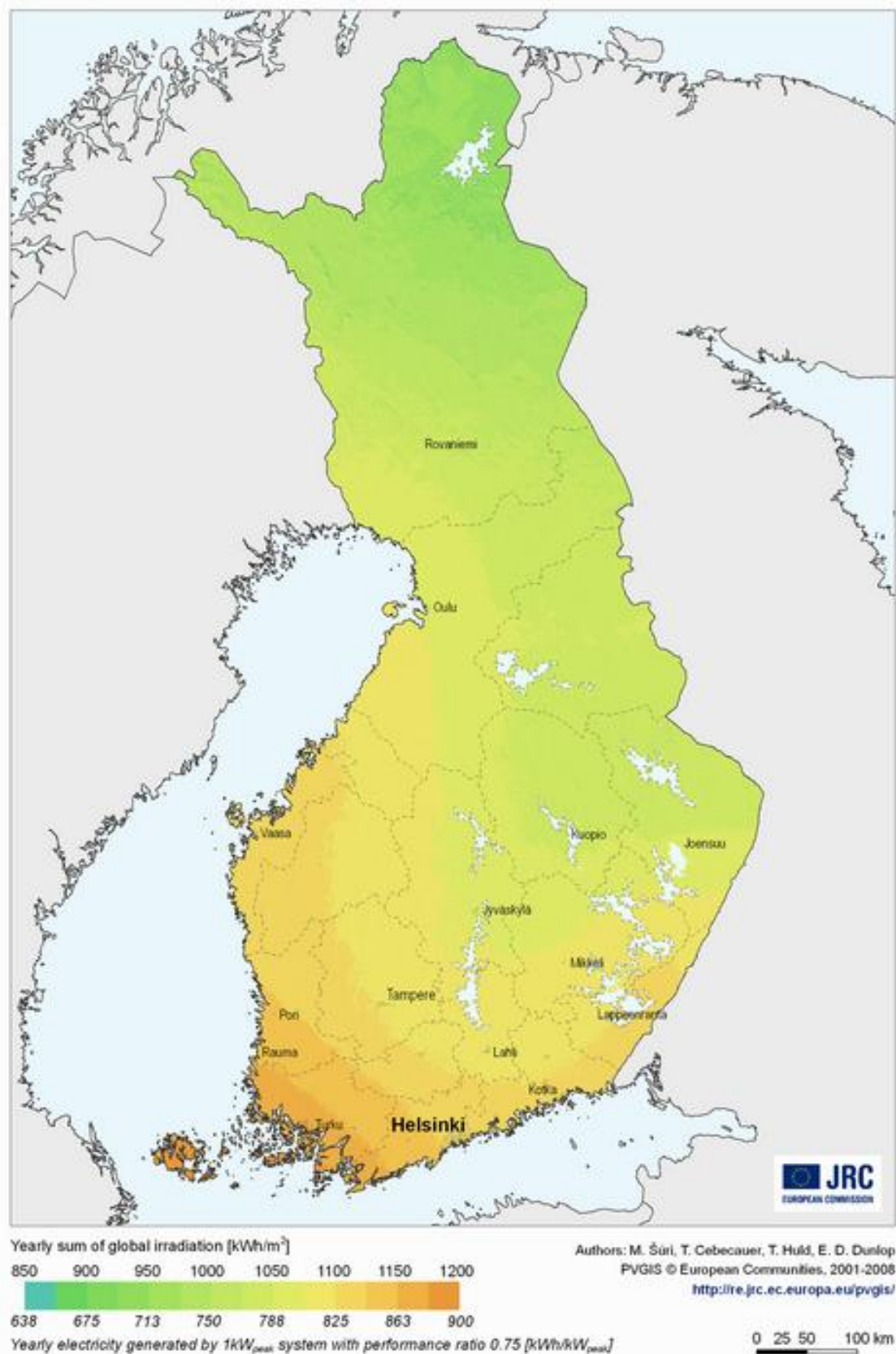
rä on suurin piirtein sama (kuva 6. ja kuvio 5.), Suomessa vain talven ja kesän auringon säteilyn määrän ero on isompi. Pitkäaikainen vuosittainen auringonpaisteen keskiarvo on Helsingissä yli 1700 tuntia ja valtaosa tästä ajasta ajoittuu maaliskuun alusta loka-kuun puoleen väliin. Pohjois-Suomessa päästään hieman yli 1500 tuntiin (kuvio 6.). (Ympäristöenergia 2013, Aurinkolämpöjärjestelmät käyttöveden ja kostean tilan lämmityksessä, luettu 2.4.2013, Aurinkoenergia.fi 2013, Aurinkoenergia, luettu 8.4.2013, Nova Future Oy 2013, Aurinkoenergiaa veden lämmitykseen, luettu 8.4.2013)



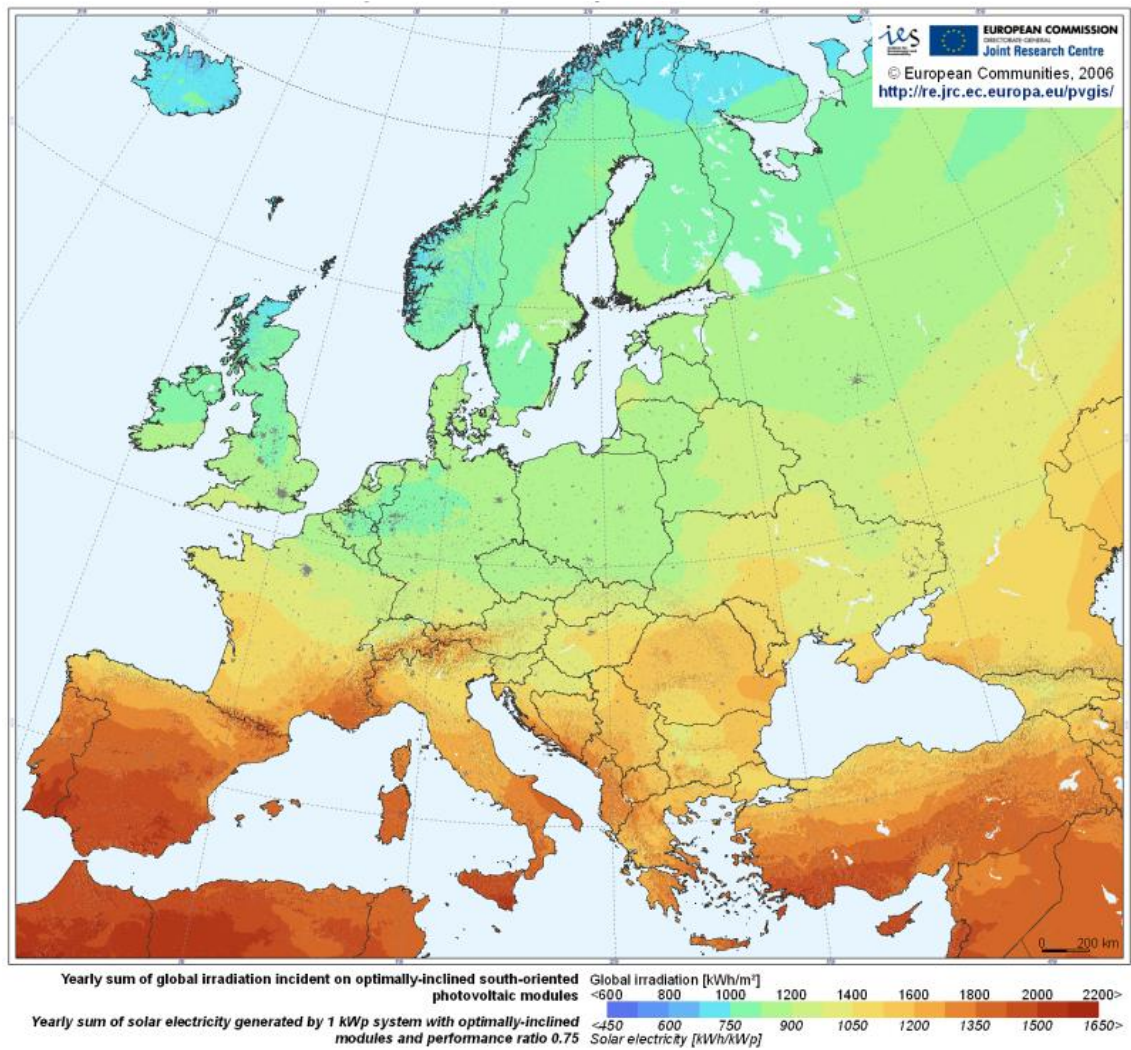
Kuvio 4. Auringonsäteilyn spektri. Säteilyn spektrikoostumus muuttuu ilmakehässä. (Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, liitetty 8.4.2013)



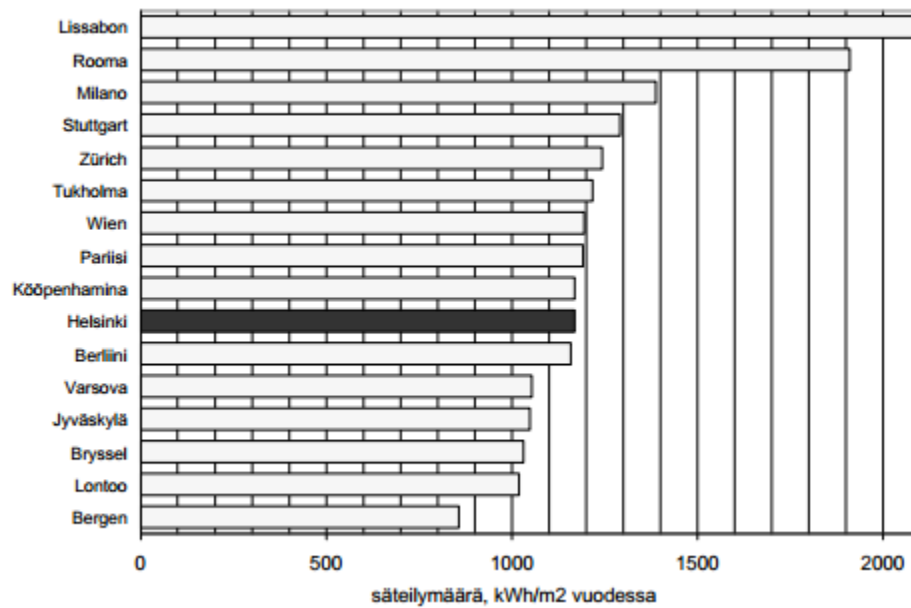
Kuva 4. Auringon säteily ilmakehässä ja maan pinnalla. (Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, liitetty 8.4.2013)



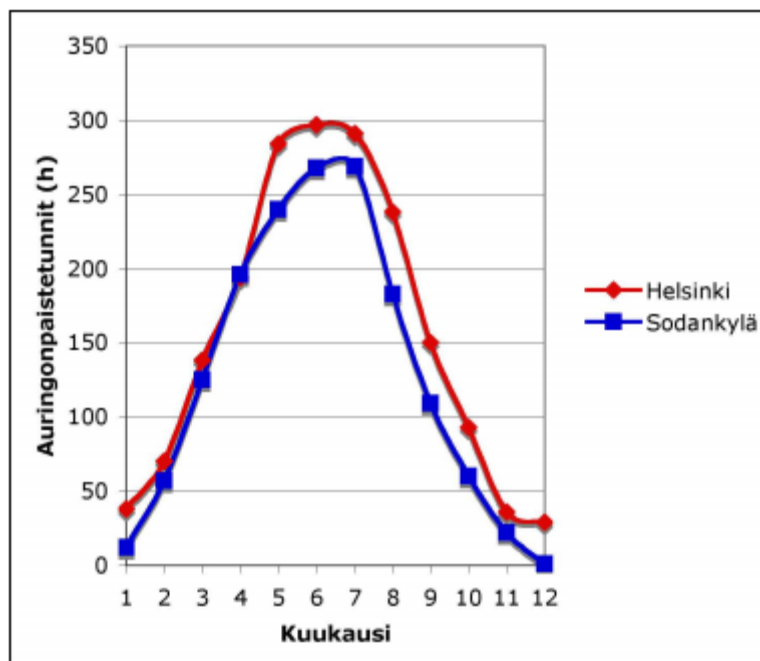
Kuva 5. Auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Suomessa 1 kW_p aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii hyötysuhteella 0,75 yhden vuoden ajan ($\text{kWh/kW}_p/\text{a}$), sekä kuinka paljon säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti vuoden aikana ($\text{kWh/m}^2/\text{a}$). (http://www.genergia.fi/aurinkoenergia_suomessa/ liitetty 8.4.2013)



Kuva 6. Auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Euroopassa 1 kW_p aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii hyötysuhteella 0,75 yhden vuoden ajan (kWh/kW_p/a), sekä kuinka paljon säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti vuoden aikana (kWh/m²/a). (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf liitetty 8.4.2013)



Kuvio 5. Auringon säteilyenergian määrä Euroopan eri kaupungeissa. (http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF liitetty 8.4.2013)

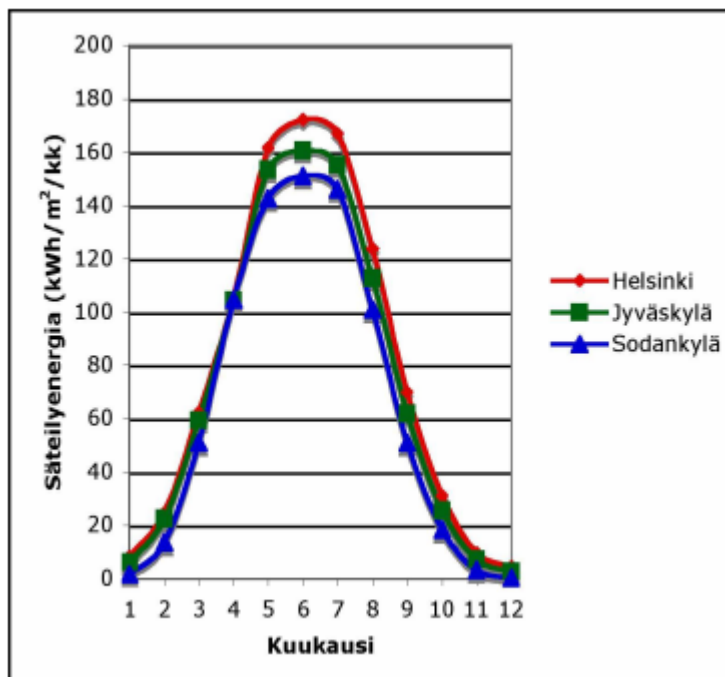


Kuvio 6. Keskimääräiset kuukausittaiset auringonpaistetunnit Sodankylässä ja Helsingissä vuosina 1971–2000.

(<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf> liitetty 8.4.2013)

Auringon säteily on voimakkaimmillaan touko-heinäkuun välisenä aikana, jolloin Sodankylässä saadaan auringon säteilyenergiaa kohtisuoralle pinnalle kuukaudessa keski-

määrin 140–150 kWh/m², Jyväskylässä 150–160 kWh/m² ja Helsingissä 160–170 kWh/m² (kuvio 7.). Loka- ja helmikuun välisenä aikana säteilyenergian määrä on kaudessa alle 30 kWh/m². Koko vuoden aikana saadaan Sodankylässä auringon säteilyenergiaa keskimäärin 780 kWh/m², Jyväskylässä 870 kWh/m² ja Helsingissä 940 kWh/m². Suomessa auringon säteilyteho vaakasuoralle pinnalle on noin 1000 W/m² keskipäivällä, eli tunnissa jokaista neliometriä kohti tulee energiaa noin 1 kWh. (Suntekno 2013, Aurinkoenergia, luettu 8.4.2013)



Kuvio 7. Keskimääräinen kuukausittainen auringonsäteilyn määrä vaakasuoralle pinnalle Sodankylässä, Jyväskylässä ja Helsingissä vuosina 1971–2000.

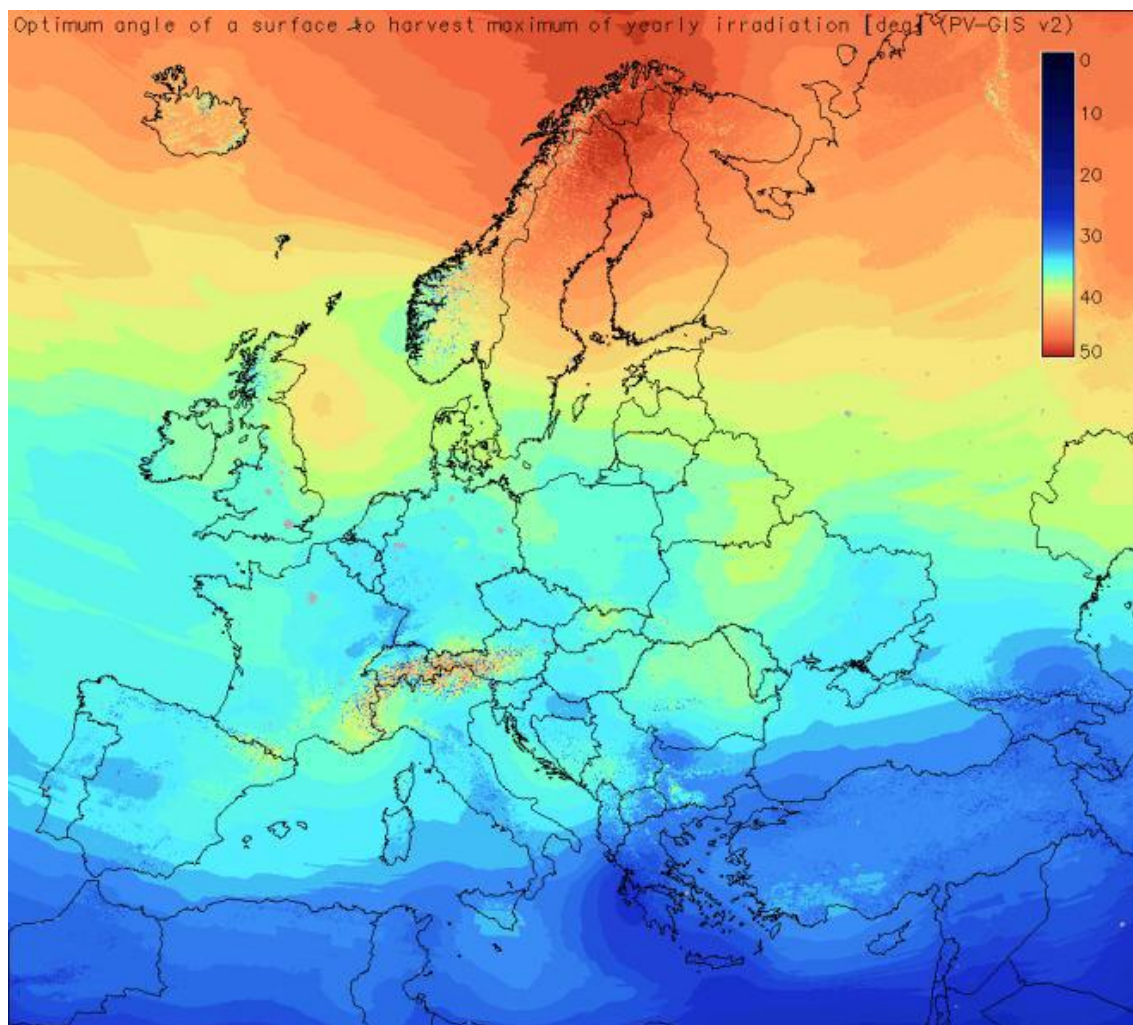
(<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf> liitetty 8.4.2013)

2.2.4 Auringonsäteilyä vastaanottavan tason suuntaus ja kallistus

Maa kiertää Aurinkoa elliptisellä radalla, joka on melko lähellä täydellistä ympyrää. Yhteen kierrokseen kuluva aika määrittää vuoden pituuden. Maa pyörähtää kerran vuorokaudessa oman akselinsa ympäri, joka on 23,45° kulmassa kiertoratatason normaaliin nähden. Maan pyöriminen oman akselinsa ympäri aiheuttaa sen, että meistä nähden aurinko nousee idästä ja laskee länteen. Maan pyörimisakselin kaltevuudesta johtuen talvella aurinko on matalammalla ja päivä on lyhyempi kuin kesällä. Aurinko paistaa Hel-

singissä joulukuussa keskipäivällä noin seitsemän asteenkulmassa, kun taas kesäkuussa auringon kulma on korkeimmillaan jopa 57 astetta. Mitä pohjoisempaan mennään, sitä suurempaa vaihtelu on. Jotta auringon muuttuvasta liikeradasta huolimatta kiinteästäkin aurinkoenergialaitteesta saataisiin mahdollisimman paljon tehoa irti, tulee laite suunnata kohti aurinkoa käyttötarkoitus ja asennuspaikka huomioiden. (Flinck Jari-Pekka 2009, luettu 11.4.2013, Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, luettu 11.4.2013)

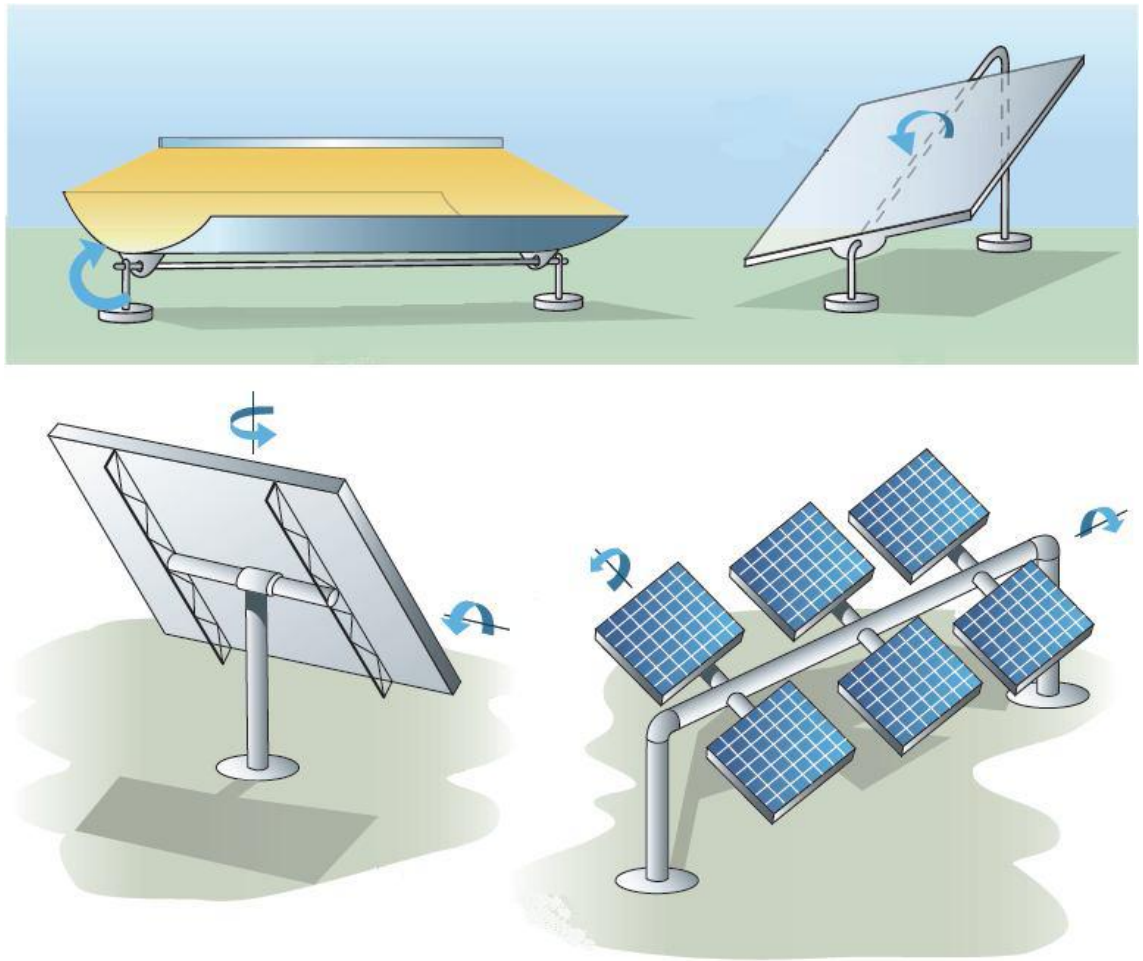
Aurinkokeräimen sekä -paneelin asento määritetään kallistus- sekä suuntakulman (atsi-muuttikulma) avulla. Kallistuskulma kertoo, kuinka paljon tasoa on kallistettu suhteessa vaakatasoon (0° – 90°). Tampereella optimaalinen kallistuskulma on noin 46° (kuva 7.) ja se määräytyy leveyspiirin, maanpinnan ominaisuuksien ja paikallisten sääolosuhteiden mukaan. Suuntakulma on tason kiertokulma pystyakselin ympäri, eli se kertoo kuinka paljon tason suuntaus poikkeaa etelästä. Suoraan etelään suunnatun tason suuntakulma on 0° , itään -90° ja länteen $+90^{\circ}$. Suuntakulman kääntäminen länteen tai itään vaikuttaa symmetrisesti tasolle tulevaan auringonsäteilyyn. Auringon säteilyn ja laitteen absorptiopinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Laitteesta saadaan suurin teho silloin, kun tulokulma on nolla, eli auringon säteily tulee suoraan laitteen absorptiopinnalle. Pohjoisella pallonpuoliskolla paras suuntakulma on suoraan kohti etelää, mutta suuntaa voi säätää hieman itään tai länteen menettämättä hirveästi tehoa, esimerkiksi esteiden vuoksi. Suuntakulman muutos voi tulla kyseeseen myös silloin, kun kuormittavan kohteen huippukulutus osuu aamuun tai iltaan, tai alueella on tavallisesti vain aamupäivisin kirkas taivas. Myös kallistuskulmaa voi vaihdella järjestelmän käyttötarkoituksen mukaan 30° – 90° välillä. Kallistuskulmaa säätämällä voi vaikuttaa esimerkiksi vuodenaika sidonnaiseen energiantuottoon. Jos halutaan painottaa koko vuoden tuottoa, paras kallistuskulma Suomessa olisi noin 45° , mutta kevättalven tuottoa optimoitaessa kulma saa olla noin 60° ja Pohjois-Suomessa peräti 70° – 80° . Kesän energiantuottoa painotettaessa kallistuskulma voi puolestaan olla paljon pienempi, noin 30° . (Flinck Jari-Pekka 2009, luettu 11.4.2013, Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, luettu 11.4.2013)



Kuva 7. Optimaalinen aurinkoenergiälaitteiden kallistuskulma eri puolella Eurooppaa. (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/imaps/index.htm>, liitetty 12.4.2013)

Uusista aurinkoenergiajärjestelmistä yli puolet on varustettu suuntaus- ja seurantajärjestelmillä. Automaattisilla suuntaus- ja seurantajärjestelmillä voidaan kustannustehokkaasti parantaa aurinkoenergiajärjestelmien hyötysuhdetta jopa 25–40 prosenttia. Järjestelmä seuraa auringon sijaintia taivaalla ja säätää aurinkoenergiälaitteita koko ajan mahdollisimman optimaaliseen kulmaan, tällä tavoin auringon säteily tulee siis koko päivän ajan suoraan aurinkokeräintä tai -paneelia kohti. Suuntausjärjestelmät voidaan jakaa yksi- ja kaksiakselisiin suuntauslaitteistoihin (kuva 8.). Yksiakselinen suuntauslaitteisto säätää aurinkoenergiälaitetta ainoastaan etelä-pohjoissuunnassa tai itä-länsisuunnassa. Kaksiakselinen suuntauslaitteisto puolestaan säätää sekä suuntaus- että kallistuskulmaa. Tällä tavoin auringonsäteilyn tulokulma voidaan pitää koko ajan optimaalisena. Jos käytössä on yksiakselinen järjestelmä, etelä-pohjoissäätö on tehokkaampi säätötapa matalilla leveyspiireillä ja korkeilla leveyspiireillä itä-länsisäätö on tehokkaampi. Yksiakselista säätöä käytetään tyypillisesti heikosti keskittävien aurinkoenergiälaitteiden ja perinteis-

ten aurinkoenergalaitteiden suuntaukseen, kun taas kaksiakselisia laitteistoja käytetään erityisesti voimakkaasti keskittävien aurinkoenergalaitteiden suuntaukseen. (Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, luettu 11.4.2013)



Kuva 8. Ylhäällä yksiakselisella suuntauslaitteistolla varustettuja ja alhaalla kaksiakselisella suuntauslaitteistolla varustettuja aurinkoenergalaitteita. (Kari Kallioharjun luentomateriaali 2012, liitetty 12.4.2013)

3 Tuuli- ja aurinkoenergia

Tuuli- ja aurinkoenergia-järjestelmät kehittyvät huimaa vauhtia ja tällä hetkellä onkin monia erilaisia tapoja saada energiaa tuulesta ja auringosta. Tuulivoimaloita on sekä isoja että pieniä. Isoja tuulivoimaloita käyttävät lähinnä sähkölaitokset ja pientuulivoimaloita puolestaan asennetaan yrityksille ja kotitalouksille. Auringosta saatavaa energiaa voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon. Aurinkolämpökeräimiä asennetaan nykyään usein osaksi lämpimän käyttöveden järjestelmää ja aurinkosähköpaneeleita on alettu suunnitella yhä useammin osaksi uusien rakennuksien julkisivua.

3.1 Tuulivoimalat

Tuulivoiman hyvät puolet ovat samat kuin muissakin uusiutuville energioissa, eli tuulivoiman ympäristövaikutukset ovat kohtuullisen vähäiset. Tuulivoimasähkön tuotannossa ei synny CO₂-, eli hiilidioksidi-päästöjä, eikä muitakaan päästöjä. Tuulivoiman merkittävimpiä ympäristöhaittoja ovat maankäyttö-, käyntiääni- ja maisemavaikutukset. Suurtuulivoimalayksiköt erottuvat selkeästi maisemasta hyvin suuren kokonsa ja muista rakennelmista poikkeavan muotonsa vuoksi (kuvat 9, 10 ja 11). Tuulivoimasta aiheutuvia maisemavaikutuksia pyritään vähentämään rakentamalla voimalat mahdollisimman vähän näkyvälle paikalle (kuva 9.) tai merelle (kuva 10.). Tuulivoimalat pyritään myös asettelemaan silmää miellyttäviin muodostelmiin osaksi kulttuurimaisemaa. Turbiinit tulee kuitenkin sijoittaa siten, etteivät ne vaikuta toistensa tehoon. Sopiva tuulivoimailoiden välinen etäisyys on esimerkiksi viisi kertaa potkurin pyörimiskehän halkaisija. (Ilmasto-opas 2013, Tuuli- ja aurinkoenergia energialähteinä, luettu 11.2.2013)



Kuva 9. Kuva tuulivoimapuistosta. (<http://www.eltelnetworks.com/fi/Suomi/Infranet-ratkaisut/Eltel-tuulivoima/> liitetty 11.2.2013)



Kuva 9. Tuulivoimapuisto joka sijaitsee merellä.

(<http://www.aamulehti.fi/Ulkomaat/1194766172142/artikkeli/tuulivoimala+vastatuulessa+hollannissa+rumia+ja+aaneikkaita.html> liitetty 11.2.2013)



Kuva 10. Huoltomies huoltamassa tuulivoimalaa.

(<http://bonitoespana.blogspot.fi/2011/11/espanja-tuottaa-60-sahkotuotannostaan.html> liitetty 11.2.2013)

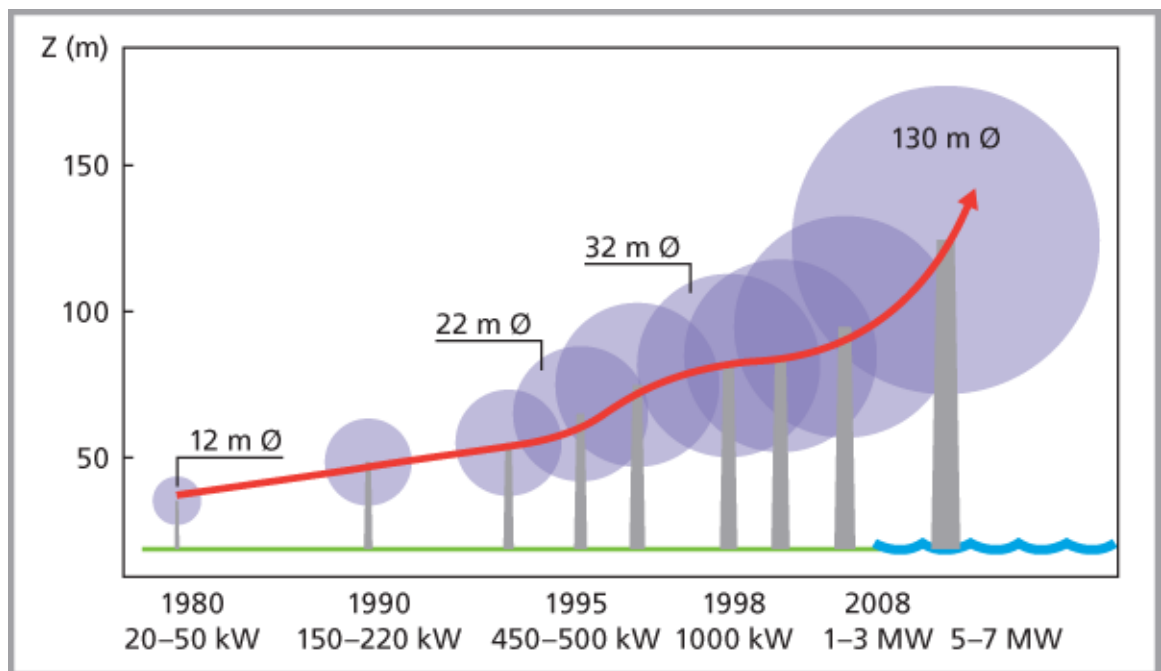
Tuulivoimapuistojen tiedetään olevan uhka linnuille, jotka ovat toisinaan törmänneet tuulivoimaloihin, mutta riski on kuitenkin suhteellisen pieni. Riskin suuruusluokaksi on arvioitu 1/1000, sillä linnut kuulevat ja näkevät voimalat jo kaukaa. Voimalan väri, teho ja koko sekä voimalan sijainti vesi- tai maa-alueella ei vaikuta merkittävästi törmäysriskiin. Vaikka lintujen riski törmäämiseen tuulivoimaloihin onkin pieni, se otetaan silti huomioon suunniteltaessa tuulivoimapuiston sijaintia. Tuulivoimapuistoa ei tästä syystä suositella rakennettavaksi suurille muuttolintujen lepäilypaikoille ja rannikon suurien muuttovirtojen solmukohtien läheisyyteen. (Ilmasto-opas 2013, Tuuli- ja aurinkoenergia energialähteinä, luettu 11.2.2013)

Merituulivoimaloiden vedenalaiset ympäristövaikutukset ovat hyvin samanlaisia kuin muilla rakennuksilla, jotka vaativat ruoppausta. Merenpohjaan vaikuttavat pääasiassa perustusten rakentaminen, vedenalaisten sähkökaapeliin asentaminen ja ruoppaus. Merituulivoimapuisto voi myös vaikuttaa merieläinten ravinnon saantiin ja kalastukseen. Toisaalta eläimistö ja kasvit saavat suojaa rakennelmista, jotka elävöittävät merenpohjaa. Merellä sijaitsevat voimalaitokset asettavat myös rajoituksia vesillä liikkumiseen. Merituulivoimaloiden välittämän värinän ja melun aiheuttamia haittavaikutuksia kaloille, nisäkkäille ja muulle vesieläimistölle tutkitaan parhaillaan. (Ilmasto-opas 2013, Tuuli- ja aurinkoenergia energialähteinä, luettu 11.2.2013)

Usein tuuliturbiinista puhuttaessa tarkoitetaan koko tuulivoimalaitosta, johon kuuluu muun muassa perustukset, masto, konehuone ja roottori (napa ja siivet/lavat). Kuvasta 12. näkyy tuuliturbiinin rakenne. Tuulivoimaloiden kokoa voidaan kuvata monella eri tavalla, kuten esimerkiksi pyyhkäisypinta-alalla, nimellisteholla, vuosituotolla, potkurin halkaisijalla, painolla tai napakorkeudella. Nimellisteho on tuulivoimalalle määritelty suurin sähköteho. Tuulivoimalan tuotto on suoraan verrannollinen pyyhkäisypinta-alaan ja tuotto paranee myös napakorkeutta kasvattamalla. Tästä syystä tuulivoimaloiden koko onkin kasvanut moninkertaiseksi viimeisen 25 vuoden aikana. Kun vuonna 1981 tuulivoimalan potkurin halkaisija oli vain vajaat 15 metriä, on sitä kasvatettu vuoteen 2009 mennessä jo 130 metriin (kuva 13.). Tällöin yhden siiven pituus on noin 65 metriä ja siksi myös maston korkeutta on pitänyt kasvattaa 22 metristä sataan metriin ja jossain Euroopan maissa rakennetaan jo 130 metrin korkuisia mastoja. Voimala, jonka potkurin halkaisija on 130 metriä, nimellisteho on noin 5 MW, kun taas vanhoilla tuulivoimaloilla tehokkuus saattoi olla vain 55 kW. Koska aerodynamiikka on parantunut, myös hyötysuhde on suurempi ja tuulisuus puolestaan on parantunut korkeamman tornin myötä. Vuosituotto on yli sata kertaistunut muutaman kymmenen vuoden aikana (kuva 13.). (Tuulivoimatieto 2013, Tuulivoimatekniikka, luettu 27.3.2013)

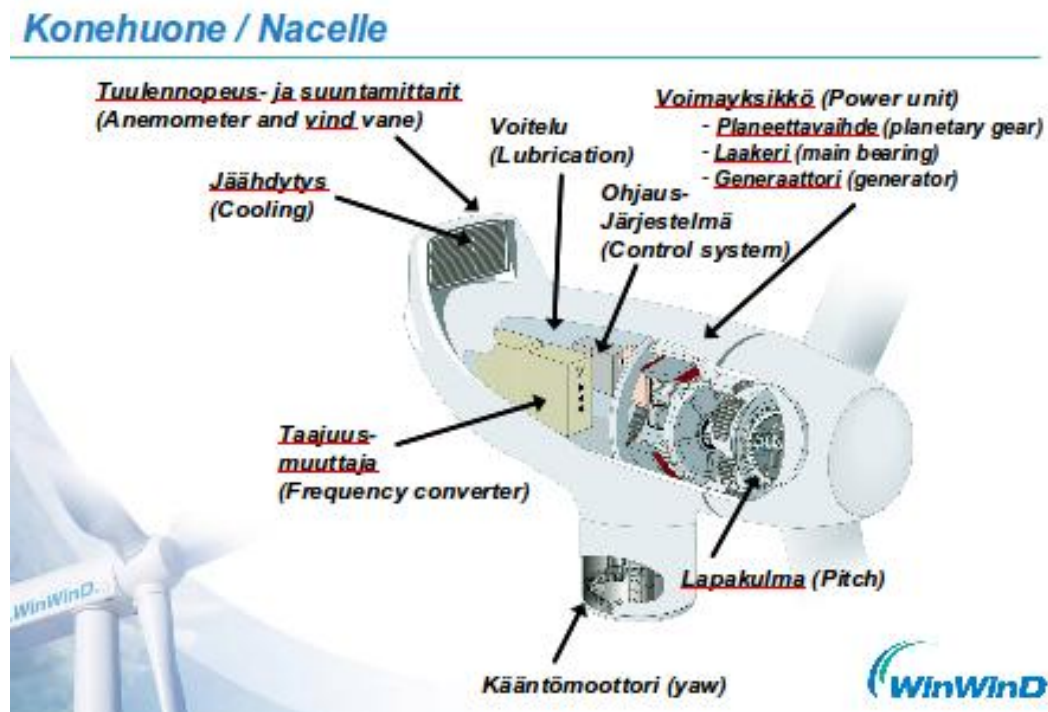


Kuva 12. Tuuliturbiinin rakenne. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatekniikka> liitetty 27.3.2013)



Kuva 11. Tuuliturbiinien koon muutos vuosien 1980 ja 2009 välisenä aikana. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatekniikka> liitetty 27.3.2013)

Tuuliturbiini on kone, jolla tuulen, eli virtaavan ilman liike-energiaa, muutetaan turbii-
nin akselin pyörimisenergiaksi, eli mekaaniseksi energiaksi. Akseli pyörittää sähköä
tuottavaa generaattoria. Konehuoneessa sijaitsevat vaihteisto, generaattori sekä ohjaus-
ja säätöjärjestelmät. Vaihteisto muuntaa roottorin matalan kierrosluvun (10–40 rpm)
generaattorille sopivaksi (1000–1500 rpm). Generaattori on yleisimmin 4- tai 6-
napainen epätahtigeneraattori, jolloin sähköverkon taajuus määrää sen pyörimisnopeu-
den. Erilliset moottorit kääntävät konehuonetta tuulen suuntaan säätölaitteen ja suunta-
anturin avulla. Konehuoneen kuori ja runko valmistetaan yleensä lasikuidusta tai teräk-
sestä. Konehuoneen rakenne on esitelty tarkemmin kuvassa 14. (Tuulivoimatieto 2013,
Tuulivoimaloiden rakenne, luettu 27.3.2013)



Kuva 14. Tuulivoimalan konehuoneen rakenne. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/rakenne> liitetty 27.3.2013)

Tuulivoimalaitoksen roottorin läpi virtaavan ilmamassan tehosisällöstä saadaan teorias-
sa hyödynnettyä vain noin 59 %, joka näin ollen on siis tuulivoimalaitoksen teoreettinen
maksimihiötysuhde. Häviöt johtuvat siitä, että tuulen nopeus roottorin takana on pie-
nempi kuin ennen roottoria, ja nopeuden pienentyessä ilmamassa laajenee, koska mas-
savirta säilyy vakiona. Käytännössä tuulivoimalaitoksen roottorihyötysuhteet ovat mak-
simissaan kuitenkin vain 50 % luokkaa. Häviöitä syntyy muun muassa lapaprofiilin ja
roottorin pyörimisnopeuden pääoptimaalisuudesta sekä virtauksen turbulentsisuudesta

(roottori pystyy hyödyntämään virtauksesta ainoastaan pyörimisakselin suuntaisen nopeuskomponentin). Hyötysuhdehäviöitä syntyy roottorin lisäksi myös generaattorissa, mekaanisessa voimansiirrosta, muuntajassa ja kaapeleissa, mutta nämä eivät ole hyötysuhteen kokonaiskeskiarvon kannalta kovin merkityksellisiä. Hetkittäin kokonaishyötysuhde (ilmavirtauksen kineettisestä energiasta sähköksi) on parhaimmillaan 45–50 %. (Tuulivoimatieto 2013, Tuulivoimaloiden rakenne, luettu 27.3.2013)

Tuulivoimaloita on vaaka- ja pystyakselisia. Pystyakselisessa voimalassa roottori on pystyasennossa ja se toimii samalla tavalla kaikilla tuulen suunnilla, eikä se tarvitse erillistä tuulen suuntausta. Pystyakselinen tuulivoimala toimii hyvin myös pyörteisissä tuuliolosuhteissa, mikä lisää pystyakselisten voimaloiden sijoitusmahdollisuuksia. Pystyakselinen tuulivoimala on ehkä hieman parempi yksityiseen käyttöön kuin vaaka-akselinen, sillä pystyakselinen käynnistyy alhaisillakin tuulennopeuksilla ja sen hyötysuhde on parempi, kun tuulen nopeus on alle viisi metriä sekunnissa (5 m/s). Pystymallissa haittana ovat kuitenkin poikittaisvoimat ja vääntymät. (Tuulivoimatieto 2013, Vaaka- ja pystyakseliset turbiinit, luettu 27.3.2013; Lauri Hietalahti luentomateriaali luettu 27.3.2013; Tuulivoimatieto 2013, Tietoa ostajalle, luettu 27.3.2013)

Vaaka-akselisen tuulivoimalan roottori on asennettu horisontaalisesti. Vaaka-akselisten voimaloiden etuna on roottorin suurempi pyyhkäisypinta-ala (potkurin kärjen piirtämän ympyrän pinta-ala), jolloin tuulesta saadaan enemmän energiaa talteen. Potkurimallien turbiini toimii paremmalla tehokertoimella keskinopeilla tuulilla (8–15 m/s), jos verrataan pystyakseliseen turbiiniin. Vaaka-akseliset turbiinit on suunniteltu tietylle tuulen nopeusalueelle, jolla ne toimivat parhaiten. Vaaka-akselisen voimalan potkuri on kääntävä kohti tuulta, jotta voimala toimisi. Tuulen suuntaus tapahtuu joko moottorikäyttöisesti (isot voimalat) tai käyttämällä pyrstöä tai poikittaista kääntöpotkuria (pienet voimalat), joka toimii tuuleen tullessa sivusta. Vaaka-akselisia voimaloita on kahta päätyyppiä, etutuuli- ja takatuulipotkureita. Etutuulipotkurissa potkurin akseli on lähes vaakatasossa ja potkuri on mastosta katsottuna tuulen puolella. Tämä on selkeästi yleisin käytetty tyyppi. Takatuulipotkurissa puolestaan potkurin akseli on lähes vaakatasossa ja potkuri on mastosta katsottuna tuulen alapuolella. Tämä tyyppi oli ennen varsin yleinen, koska potkuria tuuleen kääntävä peräsin tai suuntaiskoneisto voitiin jättää pois, kun lavat toimivat tuuliviirin tavoin ja ohjasivat voimalan aina oikeaan suuntaan. Kyseinen malli menetti kuitenkin vähitellen suosionsa, koska maston taakse syntyvät pyörteet

aiheuttavat ongelmia osuessaan potkuriin. Tällaisia ongelmia ovat muun muassa tärinä ja melu. (Tuulivoimatieto 2013, Vaaka- ja pysty akseliset turbiinit, luettu 27.3.2013)

Roottorin lavat valmistetaan tällä hetkellä yleisimmin komposiittimateriaaleista. Lavat toimivat myös laitoksen tehonsäätö- ja pysäytysmekanismina. Tehoa säädetään joko sakkaukseen tai lapakulman säätöön perustuen. Laitoksen pysäytys tapahtuu kääntämällä koko lapa pois päin tuulesta (aktiivisella sakkauksella varustetut ja lapakulmasäätöiset mallit) tai karkijarrujen avulla (sakkaussäätöiset laitokset). Lisäksi laitoksissa on toinen erillinen pysäytysmekanismi, joka on levyjarru, joko hitaalla tai nopealla akselilla tai molemmilla, mutta yleensä nopealla akselilla. (Tuulivoimatieto 2013, Tuulivoimaloiden rakenne, luettu 27.3.2013.)

Tuulen nopeuden kasvaessa on tarvetta rajoittaa teho koneiston suurimpaan sallimaan arvoon. Tähän käytetään erilaisia tehonsäätötapoja, jotka toimivat aerodynaamisesti joko lisäämällä lavan vastustusta (sakkaussäätö) tai vähentämällä lavan kantovoimaa (lapakulman säätö). Sakkaussäädössä tuulivoimalan pyörimisnopeus pidetään vakiona. Sakkauksen alkamista voidaan ohjata kääntämällä lapakulmaa tuulesta pois sitä enemmän, mitä kovemmin tuulee. Tällä järjestelmällä voidaan säätää tehokäyrän muotoa sakkauttamalla lapa halutulla hetkellä. Lapakulmasäädössä tehon optimointi sekä rajoitus tehdään kääntämällä lapakulma tilannetta vastaavaksi (lepuutus-, käynnistys-, kevyt tuuli sekä myrskyraja-asento). Tämä on aerodynaamisesti paras tapa ohjata ja säätää tehoa, mutta se vaatii kehittyneen ohjausjärjestelmän toimiakseen. Lapakulmansäätö toimii sekä muuttuvalla, että kiinteällä pyörimisnopeudella. Hätäpysäytyksessä lapakulma käännetään nopeasti lepuutusasentoon, jolloin potkuri pysähtyy välittömästi. Muuttuvan pyörimisnopeuden käyttö on yleistynyt yhdessä lapakulmasäädön kanssa, koska tällä tavalla saadaan paras hyötysuhde. Tuulivoimalan paras hyötysuhde saavutetaan tietyllä kärkinopeussuhteella, joka riippuu voimalan rakenteesta. Käytettäessä muuttuvaa pyörimisnopeutta, voidaan toimia parhaalla hyötysuhteella koko tehokäyrän nousevan osan ajan, jolla voimala toimii suurimman osan ajasta. Tehokäyrä osoittaa tuulivoimalan tuottaman tehon riippuvuuden pyörimisnopeudesta ja tuulen nopeudesta. Tehokäyrään vaikuttavat voimalan ominaisuudet: pyörimisnopeus, ilman tiheys, lapojen sileys ja tuulen nopeus. Tehokäyrä on yksi keskeisimpiä asioita voimaloiden vertailussa. (Tuulivoimatieto 2013, Tuulivoimaloiden säätötavan mukainen luokitus luettu 28.3.2013)

Turvallisuussyistä tuulivoimaloille joudutaan asettamaan suurin sallittu tuulennopeus, jonka jälkeen voimala on pysäytettävä. Tuulivoimalan pysäytykseen käytetään aerody-

naamista jarrutusta, joko erillistä jarrua tai kääntämällä lapaa tuulta kohti siten, ettei pyörittävää momenttia enää synny. Pysäytys- ja säätöjärjestelmät saattavat olla samoja tai erillisiä riippuen tuulivoimalan tyypistä. (Tuulivoimatieto 2013, Voimaloiden myrskysäätö, luettu 28.3.2013)

Sakkausrajoitettujen voimaloiden pysäyttämiseksi tarvitaan tehokas aerodynaaminen jarru. Yleisin malli on kokonaan kääntyvä kärkiosa, joka kääntyy poikittain tuuleen nähden, kun voimala halutaan pysäyttää. Kärkijarrun pituus on alle 10 % lavan, eli siiven pituudesta. Silti yksikin jarru pystyy pysäyttämään koko voimalan. Jokaisen lavan kärjessä oleva jarru takaa pysähtymisen, vaikka yksi tai molemmat muut jarrut jäisivät toimimatta. Näin on katsottu tarpeelliseksi tehdä sen vuoksi, että myrskytilanteessa kärkijarrun mahdollinen toimimattomuus saattaisi pahimmillaan hajottaa koko voimalan. Kärkijarrun avautuminen ja ohjaus perustuvat usein keskipakoisvoimaan. Jarrujen liike on sidottu toisiinsa jarrukaapeleilla, joiden tehtävänä on varmistaa, että jarruvaikutus kohdistuu tasaisesti kaikkiin lapoihin, vaikka vain yksi kärkijarru toimisi. Luotettavuutensa vuoksi kärkijarrusta on tullut yleisin käytetty ratkaisu kiinteälapaisiin voimaloihin. (Tuulivoimatieto 2013, Voimaloiden myrskysäätö, luettu 28.3.2013)

Voimala voidaan pysäyttää myös kääntämällä potkurin kehä kokonaan pois päin tuulesta. Tätä tapaa käytetään ainoastaan pienissä voimaloissa, joiden potkurin halkaisija on alle 10 metriä. Isoissa voimaloissa tätä menetelmää ei voida käyttää, koska hyrrävoimat kasvavat liian suuriksi, kun lavan paino ja pituus kasvavat. Tästä seuraa käynnön hidastuminen, eikä tehon rajoitus ehtisi toimia puuskatilanteessa. Tuulesta pois päin kääntö on kuitenkin hyvä ratkaisu kiinteälapaisille pienvoimaloille. (Tuulivoimatieto 2013, Voimaloiden myrskysäätö, luettu 28.3.2013)

Voimaloissa, joissa on lapakulman säätö, myrskypysäytys toimii kuten normaali säätö. Lapakulman kääntöä kohti tuulta jatketaan, kunnes lavan etureuna on kohtisuorassa tuulta vastaan ja voimala pysähtyy. Pysähtymisen jälkeiseen lukitukseen puolestaan käytetään mekaanista jarrua. (Tuulivoimatieto 2013, Voimaloiden myrskysäätö, luettu 28.3.2013)

Voimalan lapojen lukumäärä määräytyy ensisijaisesti kärkinopeussuhteen kautta (kuvio 8.). Kärkinopeussuhde ja lavan nostovoimakerroin määrittelevät lapojen yhteenlasketun leveyden suhteen koko pyörähdyspinta-alaan, eli pyyhkäisyypinta-alaan. Jos käytetään samanpituisia lapoja, voidaan hyötysuhdetta kasvattaa lapojen määrää lisäämällä. Nopeasti pyörivissä voimaloissa lapojen yhteinen leveys on pieni ja hitaasti pyörivissä suuri. Nelilapaisia tuulivoimaloita käytetään lähinnä viljan jauhamiseen. Monilapaisia voima-

loita, joissa on kuusi tai sitä useampia lapoja käytetään yleensä kaivopumppuina. Voimaloita, joissa on yhdestä kolmeen lapaa, käytetään energian tuotantoon. (Tuulivoimatieto 2013, Miksi kolme lapaa, luettu 28.3.2013)

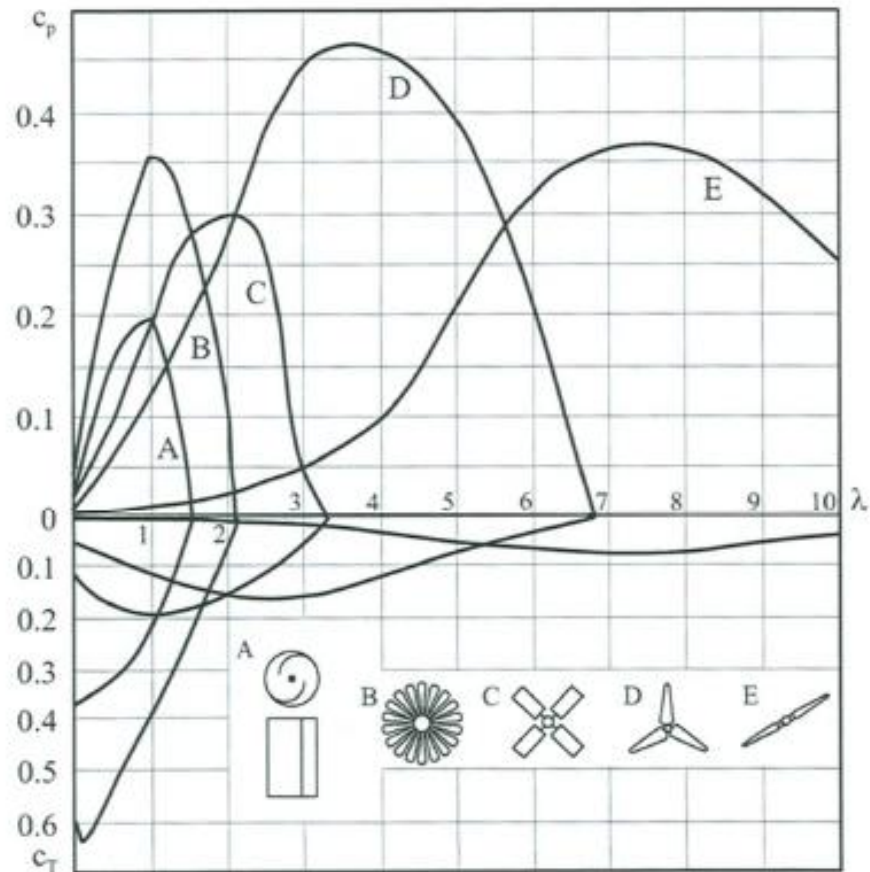


Figure 2.4: Power (c_p) and torque coefficient (c_T) versus tip speed ratio (λ) for different turbines [22]

Kuvio 8. Tuulivoimalan siipien lukumäärän mukaiset tehokäyrät. c_p kertoo tehokertoimen eri siipimäärille, esimerkiksi kolmilapaisen tuulivoimalan tehokerroin on noin 0,47. λ kertoo kehänopeuden suhteen (kolmilapaisella noin 3,8). (Lauri Hietalahden luentomateriaali 2012, liitetty 28.3.2013)

Kolmilapainen potkuri on selkeästi eniten käytetty siipien määrä tuulivoimaloissa, ja siihen on monia syitä. Kolmilapainen potkuri on pyörähdyssymmetrisesti tasapainossa ja massahitusvoimat ovat tasapainossa kaikkien akseleiden suhteen. Mikäli voimalassa on vähemmän kuin kolme lapaa, aiheutuu tuulen kääntäessä koneistoa rasittavaa tärinää, joka johtuu massahitusvoimien eroista vaaka- ja pystyakselin suhteen. Kaksilapainen turbiini kärsii dynaamisesta hitausmomentista, eli niin sanotuista hyrrävoimista. Tuu-

leen käännettäessä kaksi tai yksilapaisessa potkurissa kääntö sujuu kevyesti, kun lapa on pystyssä, mutta kun lapa on vaaka-asennossa, kääntö estyy lähes kokonaan. Tämä on samanlainen ilmiö kuin esimerkiksi piruetissa, jossa tanssija pyörii nopeasti, kun kädet ovat vartalossa kiinni tai pyörintäakselilla, mutta pyöriminen hidastuu lähes pysähtymiseen, kun hän levittää kätensä. Jos tuulivoimalassa lapojen lukumäärä on parillinen, turbiini kärsii tornivarjoresonanssista, joka voi johtaa turbiinin keinuntaan. Tämän takia on parempi, että siipiä on pariton määrä. Jos kuitenkin on yli kolme lapaa, esimerkiksi viisi tai seitsemän, tulee materiaali hukkaa, eikä energiassa saatava hyöty ole kuitenkaan merkittävä kolmeen lapaan verrattuna. Yksi lapa puolestaan vaatii vastapainon, joka johtaa myös materiaalihukkaan. Näiden etujen lisäksi kolmilapainen voimala on visuaalisesti miellyttävän näköinen. (Tuulivoimatieto 2013, Miksi kolme lapaa, luettu 28.3.2013; Lauri Hietalahden luentomateriaali 2012, luettu 27.3.2013)

Tuulivoimalan pyörittävä momentti syntyy kolmella eri tavalla, joko lavan nostovoiman ansiosta kuten lentokoneessa, siipien välisestä vastuserosta (kuppiproottori) tai osittain nostovoiman ja vastuksen avulla (Savonius, Windside ja Jaspira). Vastuserolla toimivissa tuulivoimaloissa turbiini muodostuu pyörivästä kehästä, jonka akseli on kohtisuoraan tuulta vastaan. Kehällä on siipiä, pusseja, kuppeja tai muita laitteita, joiden tarkoituksena on vastustaa mahdollisimman tehokkaasti tuulta pyörimiskehän toisella sivulla ja palata alkuasentoon tuulen yläpuolelle mahdollisimman huomaamattomasti ja vähän vastusta aiheuttaen. Turbiinin siipeen kohdistuva voima perustuu siiven vastukseen tuulen ohittaessa sen. Voima suuntautuu myötätuuleen. Turbiinin siiven vastuskerroin on pieni siiven palatessa vastatuuleen ja suuri silloin, kun siipi kulkee myötätuuleen. Tuuli kohtaa turbiinin pinnan jyrkässä kulmassa ja synnyttää voiman, joka on sitä suurempi mitä isompi nopeusero vallitsee tuulen ja turbiinin pinnan välillä. Tämän takia turbiinin pyörimisliikkeen kehänopeus jää aina pienemmäksi kuin tuulen nopeus, koska tuulen nopeutta vastaavalla kehänopeudella ei enää synny turbiinia käyttävää voimaa sekä pyöritysmomenttia. Turbiinin palaava, tuulta vasten pyörivä siipi, puolestaan aiheuttaa vastusta, joka aiheutuu suuresta suhteellisesta ilmannopeudesta, vaikka vastuskerroin olisi pieni. Vastuserolla toimivien voimaloiden turbiinit pyörivät pienillä nopeuksilla sekä ovat teholtaan hyvin heikkoja. Ihannetapauksessa tuulen mukana kulkevan siipielementin vastus olisi mahdollisimman suuri ja palaavan vastus olisi nolla. Tämä voimalatyyppejä on innoittanut kautta historian keksijöitä ja toimivia ratkaisuja tunnetaan jo tuhansien vuosien takaa, mutta silti uusia ehdotuksia tuntuu löytyvän vielä nykypäivänäkin. Toimintaperiaatteen huonona puolena on se, että hyötysuhde on parhaimmas-

sakin tapauksessa vain vaivaiset pari prosenttia, joka on muihin malleihin verrattuna todella mitätön. Yksi vastuserolla toimiva tuulivoimala-malli on kuppianemometri (kuva 15.), jota käytetään yleisesti tuulen nopeuden mittauksessa. Siihen eivät vaikuta äkillisetkään tuulen suunnanmuutokset, joten siinä on hyvin pieni akselikitka ja näin ollen se ei tuota tehoa, vaan pyörii mahdollisimman vapaasti seuraten herkästi tuulen nopeuden muutoksia. (Tuulivoimatieto 2013, Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu, luettu 29.3.2013)



Kuva 12. Kuppianemometri. (<http://fi.dobizinc.com/item/wireless-wind-speed-and-direction-sensors-one-wind-speed-wind-direction-the-sensor-9784480332.html> liitetty 2.5.2013)

Aerodynaamisesti toimivissa tuulivoimaloissa turbiinin siipeen kohdistuva voima syntyy ohi virtaavan ilman aiheuttamasta nostovoimasta, joka on kohtisuoraan virtausta vastaan. Mitä nopeammin ilma virtaa siiven ohitse, sitä suurempi voima on. Usein siiven oma pyörimisliike lisää suhteellista nopeutta ilmavirtaan nähden. Tällaiset turbiinit pyörivät paljon suuremmalla kehänopeudella kuin vapaan ilman nopeus ja siipi toimii samalla tavoin kuin purje tai lentokoneen siipi. (Tuulivoimatieto 2013, Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu, luettu 29.3.2013)

Savonius-turbiini on suomalainen keksintö 1930-luvulta (kuva 16.). Se on pystyakselinen turbiini, jolla on hyvä vääntömomentti alhaisilla kierroksilla ja kohtuullinen hyötysuhde. Parhaimmillaan Savonius-turbiini on siellä, missä tarvitaan pientä pyörimisnopeutta ja tehoa, esimerkiksi veden pumppauksessa. Windside-turbiini (tuuliviiri, kuva 17.) on kehitetty Savonius-turbiinista. Siitä on poistettu Savoniuksessa olleet viat, kuten käynnin epätasaisuuteen liittyneet ongelmat. Ongelmat on korjattu kiertämällä turbiinia

ruuvin tavoin sekä käynnistysmomentin riippuvuus tuulen suunnasta. Sen rakenne kestää myös muotonsa ansiosta suuriakin kuormituksia, toisin kuin Savonius-turbiini. (Tuulivoimatieto 2013, Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu, luettu 29.3.2013)



Kuva 13. Savonius-turbiini.

(http://www.ecosources.info/en/topics/Savonius_vertical_axis_wind_turbine liitetty 2.5.2013)



Kuva 14. Windside-turbiini. (<http://jussisiitarinen.blogspot.fi/2010/10/omavaraista-energiantuotantoa-windside.html> liitetty 2.5.2013)

Potkurikäyttöisiä voimaloita kutsutaan myös vaaka-akselisiksi voimaloiksi ja niiden merkittävin etu on se, että ne peittävät omaan pinta-alaansa verrattuna suuren alan sekä kykenevät tuottamaan rakennepainoonsa nähden huomattavan paljon tehoa. Potkuri pyörii yleensä pienellä nopeudella ja siksi generaattorin ja potkurin väliin tarvitaan usein ylennysvaihde. Mitä suurempi potkuri on, sitä pienempi on pyörimisnopeus, koska potkurin kärkinopeus halutaan rajoittaa melusyiden takia alle melurajan (70 m/s). Potkurin akseli tulee aina suunnata tuulta vasten, jotta se tuottaisi mahdollisimman paljon tehoa. Suuntaus perustuu joko tuulen vallitsevan suunnan mittaamiseen ja hydraulil- tai sähkömoottorilla tapahtuvaan suuntaamiseen tai tuuliviiriperiaatteeseen. Kun potkuria käännetään kohti tuulta, esiintyy koriolisvoima, joka pyrkii kiertämään potkurin akselin joko alas- tai ylöspäin riippuen käynnön suunnasta. Tämä voima aiheuttaa etenkin kaksilapaisissa potkureissa voimakasta tärinää käännettäessä, joka rasittaa potkuria ja sen akselia. Kolme- ja useampilapaisissa potkureissa koriolisvoimasta johtuvat hitausvoimat ovat tasapainossa akselin suhteen, eikä sen takia voimista johtuvaa tärinää esiinny. Tämä on yksi syy, miksi kolmilapaiset potkurit ovat niin suosittuja. Kolmilapaisuus ei kuitenkaan estä koriolisvoimaa vaikuttamasta jokaiseen lapaan erikseen, mutta kolmilapaisuus tasaa akseliin kohdistuvia kuormia. Hyötysuhteeltaan potkurikäyttöiset voimalat on rakennettavissa varsin tehokkaiksi. Tämä edellyttää kuitenkin potkurin ominaisuuksien valintaa siten, että se toimii optimaalisesti. Teoriassa potkurikäyttöisellä voimalalla on kuitenkin parhaat mahdollisuudet päästä lähimmäksi ihanteellista arvoa. Potkurikäyttöisen voimalan suojaamiseksi myrskytilanteilta on tehtävä riittävän varmatoimiset suojaimekanismit. Suojatoimien tulisi rajoittaa potkurin tuottamaa pyöritysmomenttia ja pysäyttää potkuri tuulen nopeuden ylittäessä sallitun raja-arvon. (Tuulivoimatieto 2013, Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu, luettu 29.3.2013)

3.2 Aurinkosähkö

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää suoraan: valona, sähköinä ja lämpönä, niin aktiivisesti kuin passiivisestikin. Saksassa aurinkoenergian hyödyntäminen on paljon yleisempää kuin Suomessa, vaikka aurinkoenergiaa saadaan Suomessa vuoden aikana yhteensä lähes sama määrä kuin Keski-Euroopassa. Aurinkosähkön maailmanlaajuinen käyttö on viimeisten vuosien aikana lisääntynyt kymmeniä prosentteja vuosittain. Kuvassa 18. näkyy auringon vuosittain säteilemä energia eri puolilla maapalloa. Aurinkoenergiaa voidaan suuressa mittakaavassa hyödyntää etenkin kuvassa 18. esitetyillä punaisilla ja

oransseilla alueilla, mutta tulevaisuudessa aurinkoenergia voi olla arvokas energian tuottaja lähes kaikkialla maailmassa. Kuten kuvasta 18. olevasta säteilykartasta voidaan havaita, useissa kehitysmaissa aurinkosähkön käyttöpotentiaali on todella suuri. Aurinkosähkön vieminen syrjäisiin maaseutukyliin onkin nykyään tärkeä osa kehitysapua ja tulevaisuudessa aurinkosähköllä tulee olemaan suuri rooli juuri kehitysmaiden energiantuotannon saattamisessa kestävän kehityksen tielle. Isojen kansainvälisten yhtiöiden mukaantulo aurinkosähköalalle (BP, Siemens, Shell) on myös omalta osaltaan nostanut alan taloudellista panostusta uudelle tasolle viime vuosikymmenen aikana. Pitkällä tähtäimellä aurinkoenergia tulee olemaan varteenotettava tekijä useiden maiden sähkön tuotannossa, sillä auringon ehtymättömän ja ilmaisen energian hyödyntäminen muuttuu vuosi vuodelta edullisemmaksi. Tällä hetkellä aurinkopaneeli tuottaa elinikensä aikana noin 5–10 kertaa sen energiamäärän, mikä sen valmistukseen tarvitaan ja niiden käyttöikä on noin 25–30 vuotta. (Vaihda virtaa 2013, Aurinkosähkö, luettu 30.3.2013; Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähkö luettu 1.4.2013; Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Minne aurinkoenergia soveltuu, luettu 1.4.2013)



Kuva 15. Auringon säteilyn määrä maapallolla. Mitä tummempi väri, sitä enemmän säteilyä alueelle tulee. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-minne.html> liitetty 1.4.2013)

3.2.1 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmiä on perinteisesti käytetty paikoissa, joissa verkkosähköä ei ole helposti saatavilla. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi kesämökit, saaristo- ja erämaa-kohteet, väyläloistot, veneet sekä linkkimastot. Verkkoon kytketyt järjestelmät ovat kuitenkin yleistyneet viimeisten vuosien aikana, sillä aurinkosähköllä voidaan tuottaa myös huomattava osa esimerkiksi kotitalouden tarvitsemasta sähköstä. Aurinkosähköjärjestelmä onkin helppo sovittaa yhteen kodin yleiseen sähköverkkoon kytketyn järjestelmän kanssa. (Motiva 2013, Aurinkosähkö, luettu 30.3.2013)

Monessa maassa aurinkosähkö on yleisin sähkönlähde sähköverkon ulkopuolella. Suomessa noin 35 000 kesämökkiä on varustettu aurinkosähköpaneelilla. Kesämökkijärjestelmät, joissa on useimmiten 50–150 W:n aurinkopaneelit, maksavat noin 1000–2000 euroa. Kesämökin sähköistyksessä aurinkosähkö on hyvä ratkaisu, mikäli sähköverkko on kaukana kulutuspisteestä tai sähköön kulutus on vähäistä. Pieni aurinkosähköjärjestelmä riittää muutamaa valaistuspisteseen. Isompi 50 W:n aurinkopaneeli, jonka lisäksi on myös 150 Ah:n akku, riittää kesämökin kohtuulliseen valaistukseen sekä television ja radion käyttöön. Ennen aurinkosähköjärjestelmän ostamista kannattaa varmistaa järjestelmän laajennettavuus, sillä käyttötarpeet saattavat kasvaa ajan myötä. Aurinkosähköjärjestelmiä voidaan asentaa myös siten, että ne tuottavat vain osan rakennuksessa tarvittavasta energiasta. Tällä tavoin tehdään useimmiten kun asuin- tai toimistorakennukseen liitetään aurinkosähköjärjestelmä. Nämä järjestelmät kytketään yleensä sähköverkkoon, jolloin ne syöttävät oman kulutuksen ylittävän osan yleiseen sähköverkkoon. Järjestelmän verkkoon kytkentä ja asennus edellyttää aina sopimusta sähköyhtiön kanssa ja sähköturvallisuuden varmistamista. (Motiva 2013, Aurinkosähkö, luettu 30.3.2013; Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Minne aurinkoenergia soveltuu, luettu 1.4.2013)

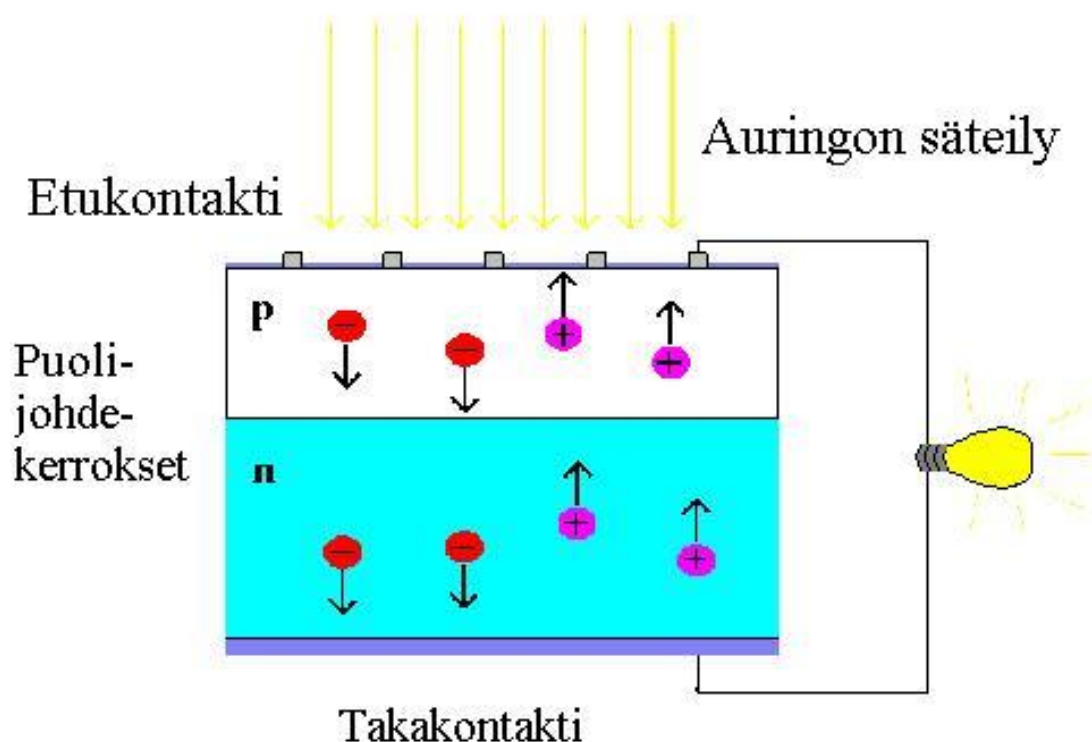
3.2.2 Aurinkopaneelit

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneelilla. Paneelit koostuvat aurinkokennoista, joissa auringonsäteiden energia saa aikaa sähköjännitteen. Kennojen raaka-aineena käytetään useimmiten amorfista, kiteistä tai monikiteistä piitä. Aurinkokenno on elektroninen puolijohde. Auringonsäteily synnyttää kennon ylä- ja alapinnan välille jännitteen, ja kun kytketään tarpeeksi monta kennoa sarjaan, saadaan aikaan haluttu jännitteen taso. Ken-

noston eli aurinkopaneelin tuottaman virran suuruus on suoraan verrannollinen auringonsäteilyn voimakkuuteen. Esimerkiksi kirkkaalla auringon-paisteella säteilyn voimakkuus on huomattavasti voimakkaampaa kuin pilvisellä ilmalla. (Motiva 2013, Aurinkosähkö, luettu 30.3.2013)

Aurinkopaneelin tuottama sähkö varastoidaan itsenäisessä järjestelmässä useammassa tai yhdessä akussa. Sähköverkkoon kytketyssä järjestelmässä energiavarastona toimii yleinen sähköverkko. Hyvälaatuinen ja oikeantyyppinen akku on tärkeä osa tehokasta ja hyvin toimivaa järjestelmää. Akkua käytetään pilvisinä päivinä ja öisin, ja se sijoitetaan ilmastoituun tilaan, jonne pääsy on lapsilta estetty. Akkujen kapasiteetti mitoitetaan kattamaan muutaman päivän normaalikulutus ilman latausta. Aurinkoenergiasovelluksia varten on kehitetty sellainen akku, että se kestää usein toistuvaa latausta ja purkausta. Aurinkopaneelia voidaan käyttää myös ilman akkua, mutta silloin energia on käytettävä suoraan esimerkiksi rakennuksen veden pumppaamiseen vesisäiliöön, ilmastointiin tai kasteluun. (Motiva 2013, Aurinkosähkö, luettu 30.3.2013)

Kuten jo edellä on mainittu, aurinkopaneeli koostuu useista pienistä aurinkokennoista, jotka on kytketty yhteen. Aurinkokenno muuttaa auringosta tulevan säteilyn sähköksi (kuva 19.). Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka voivat vapauttaa elektroneja aurinkokennomateriaalissa. Kenno koostuu kahdesta melkein samanlaisesta puolijohdemateriaalista (n- ja p-materiaali), jotka kuitenkin eroavat toisistaan atomien varausjakauman suhteen. Fotonien energia siirtyy negatiivisille ja positiivisille varauksenkuljettajille, jotka ovat vapaita liikkumaan kennossa. Tämä ero saa aikaan kennon sisälle sähkökentän, joka vie auringonvalon vapauttamat negatiiviset ja positiiviset varauksenkuljettajat eri suuntiin kennossa. Lopulta varauksenkuljettajat kulkeutuvat ulkoiseen piiriin, jossa niitä voidaan käyttää hyödyksi sähköjärjestelmässä, esimerkiksi valaistuksessa. Varauksenkuljettajien liike on sähkövirtaa ja eri suuntiin siirtyneet varaukset synnyttävät jännitteen. Tavallisen aurinkokennon toiminta perustuu auringonvalon absorptioon puolijohteessa. Puolijohteet ovat kiteisen rakenteen omaavia materiaaleja, joissa atomit tiettyjen tasapainoehtojen mukaan järjestäytyvät säännöllisesti. Puhtaat puolijohteet johtavat sähköä heikosti huoneenlämpötilassa (noin 25 °C), mutta puolijohteiden hyödyllisyys perustuu siihen, että niiden sähkönjohtavuusominaisuuksia voidaan säätää lisäämällä niihin tiettyjä alkuaineita. (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Miten aurinkokenno toimii, luettu 30.3.2013)



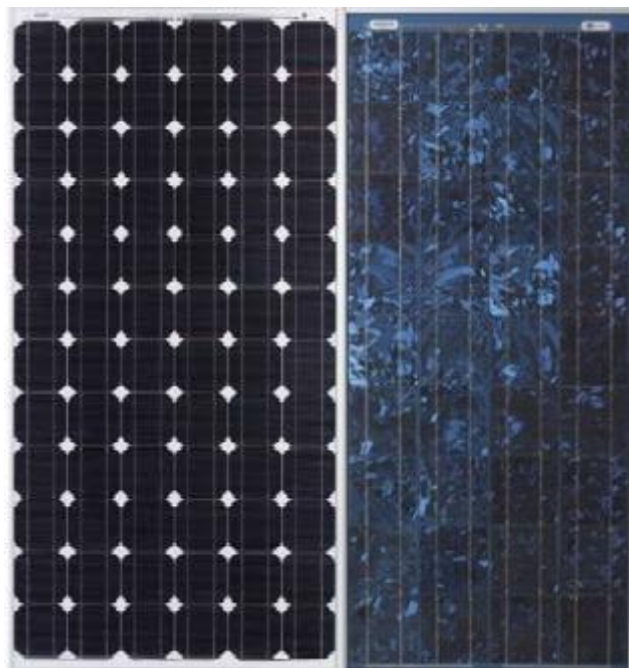
Kuva 16. Aurinkokennon toimintaperiaate.

(<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html> liitetty 30.3.2013)

Aurinkokennoja on kehitetty jo 50 vuoden ajan. Selvästi käytetyin puolijohdemateriaali aurinkokennoissa on pii (Si), mutta viimeisten kymmenen vuoden aikana ohutkalvotekniikkaan perustuvat teknologiat ovat yleistyneet. Tulevaisuudessa nanotekniikkaan perustuvat aurinkokennot tulevat yleistymään, sillä niitä on helppo valmistaa suurelle pinnalle. Toisaalta myös piikennot kehittyvät koko ajan entistä halvemmiksi ja paremmiksi. Oman ryhmänsä muodostavat näiden teknologioiden ja materiaalien lisäksi avaruussovellutuksissa käytetyt aurinkokennot, joiden käyttöä korkeat valmistuskustannukset eivät rajoita. (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähköteknologiat, luettu 31.3.2013)

Pii-aurinkokennot valmistetaan yleensä joko monikiteisestä piistä (multicrystalline silicon, mc-Si) tai yksikiteisestä piistä (crystalline silicon, c-Si). Yksikiteisellä piillä päästään piikennojen parhaisiin hyötysuhteisiin (ennätys tällä hetkellä 25 %), mutta materiaalin valmistaminen on kallista ja kuluttaa paljon energiaa. Monikiteisen piin valmistusprosessi on helpompi, koska pii saadaan monikiteiseksi saattamalla sulaa piitä kiinteään olomuotoon. Monikiteisyydestä johtuen kiteessä on kuitenkin paljon enemmän hilavirheitä kuin yksikiteisessä piissä ja varsinkin kiteiden väliset rajapinnat heikentävät kennon toimintaa. Monikiteisen piin ennätys hyötysuhde on tällä hetkellä 20 %. Yksiki-

teisestä ja monikiteisestä piistä valmistetut aurinkopaneelit poikkeavat ulkonäöltään selvästi toisistaan (kuva 20.). (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähköteknologiat, luettu 31.3.2013)



Kuva 17. Yksikiteisestä piistä (vasen) ja monikiteisestä piistä (oikea) valmistettu aurinkopaneeli. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Ohutkalvoteknologia on kehitetty puolijohdeteollisuuden muilta aloilta aurinkokennoihin, jossa vähentynyt materiaalityrve on suuri etu. Ohutkalvokennossa aktiivimateriaali on noin 100–1000 kertaa ohuempaa kuin piikennoissa, mikä vähentää kustannuksia reilusti. Tämän lisäksi ohutkalvokennoja voidaan helpommin valmistaa suuremmalle pinta-alalle kuin piikennoja. Kaksi tärkeintä ohutkalvoteknologiaa koostuvat metallipuolijohteista; CIS (kupari-indium-diselenidi, CuInSe_2) ja CdTe (kadmium-telluridi). Tähän joukkoon kuuluu myös amorfinen pii (amorphous silicon, a-Si), jolla ei ole minkäänlaista kiderakennetta. Parhaimmat hyötysuhteet yksittäisille kennoille ovat tällä hetkellä alle 20 % (CIS 18 %, CdTe 16 % ja a-Si 13 %). Kuvassa 21. on esimerkkikuva ohutkalvoteknologialla valmistetusta aurinkopaneelistä. (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähköteknologiat, luettu 31.3.2013)



Kuva 18. Ohutkalvoteknologialla valmistettu aurinkopaneeli.

(<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Uusia aurinkokennomateriaaleja sekä ratkaisuja kehitetään jatkuvasti. Uusimpiin kaupallistumisen kynnyksellä oleviin teknologioihin kuuluu nanorakenteinen väriaineaurinkokenno, joka eroaa toimintaperiaatteiltaan ja materiaaleiltaan muista teknologioista. Väriainekenno on sähkökemiallinen kenno, jossa titaanidioksidipartikkelien pintaan kiinnittyneet väriainemolekyylit tuottavat auringonvalosta sähköä. Teknologian etuina ovat yksinkertaiset valmistusmenetelmät ja alhaiset valmistuskustannukset. Huonona puolena on se, että paras tällä hetkellä saavutettu kennohyötysuhde on vasta 11 %. Kuvasta 22. näkee, että nanokideteknologialla aurinkopaneeleista voidaan tehdä todella ohuita. (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähköteknologiat, luettu 31.3.2013)



Kuva 19. Nanokideteknologialla valmistettuja aurinkopaneeleja.

(<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Satelliiteissa ja sukkuloissa aurinkosähkö on tavallisin energianlähde (kuva 23.). Avaruudessa käytettävien aurinkopaneelien täytyy kestää hiukkassäteilyä ilman, että suorituskyky heikkenee. Avaruuspaneeleille on kehitetty erittäin tehokkaita paneeleja kalliista materiaaleista, mutta juuri korkeiden kustannustensa vuoksi niitä ei käytetä muualla kuin avaruudessa. Yleisimmin avaruuspaneeleissa käytettävä materiaali on GaAS (galliumarsenidi) ja usein paneelit hyödyntävät monikerrosteknologiaa, jonka ansiosta hyötysuhde voi parhaimmillaan olla jopa 40 %. (Helsingin teknillinen yliopisto 2013, Aurinkosähköteknologiat, luettu 31.3.2013)



Kuva 20. Aurinkopaneeleita satelliitin siivekkeissä.

(http://yle.fi/uutiset/satelliitti_kestaa_aurinkomyrskyn/5666605 liitetty 31.3.2013)

3.3 Aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää valon ja sähkön lisäksi myös lämmityksessä. Lämmön talteenotossa käytetään tyhjiöputkikeräimiä sekä aurinkokeräimiä. Aurinkosähkö on vielä hieman kallista tuotantohinnaltaan niiden käyttämän puolijohde teknologian takia, mutta sama ongelma ei kuitenkaan koske aurinkolämpöä. Aurinkolämmön erilaiset keräimet ovat materiaali- ja kustannustehokkuudeltaan jo nyt erinomaisia, sillä niiden käyttämä teknologia on yksinkertaista. Lisäksi aurinkokeräinten valmistustavat kuormittavat vähemmän ympäristöä, kuin aurinkopaneeleiden valmistustavat. Aurinkolämmön haasteet erityisesti Suomen olosuhteissa liittyvät laitteiston rakenteeseen. Periaatteessa aurinkokeräinten tekniset ratkaisut ovat kestäviä, mutta nesteiden kuljettaminen putkia pitkin rakennusten katoilla kuulostaa monien mielestä hieman arveluttavalta. Tähänkin haasteeseen on kuitenkin keksitty ratkaisu. Tasokeräinten pinta on sen verran lämmin, että lumi sulaa siitä pois ja tyhjiöputkikeräimet puolestaan voidaan asentaa pystyasentoon. Laitteisto kannattaa sijoittaa niin, että siitä on tarvittaessa helppo puhdistaa lumi pois, mikäli lunta pääsee kertymään keräinten päälle. Aurinkolämpöjärjestelmän yleisin tekninen ratkaisu on nestekiertoinen tasokeräin, jossa pumpun avulla kierrätetään vesi-glykoliseosta. Keräimessä lämmennyt neste kulkee kokoomaputkien kautta lämmönvaraajaan. Aurinkokeräinten käyttö on melko huoletonta, sillä

huollontarvetta niillä ei juuri ole. Keräinten lisäksi aurinkolämpöjärjestelmään tarvittava tekniikka on tyypiltään melko samanlaista kuin perinteinen LVI-tekniikka. Tekniseksi käyttöiäksi valmistajat ilmoittavat tällä hetkellä noin 20–30 vuotta. Aurinkolämpöjärjestelmä suositellaan kytkettäväksi tuottamaan lämmintä käyttövettä, koska silloin järjestelmästä on hyötyä myös kesällä, jolloin aurinkoenergiaa juuri eniten saadaan. Kuvassa 24. on esimerkkikuva aurinkolämpöjärjestelmästä. (Vaihdavirtaa 2013, Aurinkolämpö, luettu 2.4.2013; Motiva 2013, Aurinkolämpö, 2.4.2013)



Kuva 21. Aurinkolämpöjärjestelmän rakenne.

(<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF> liitetty 6.4.2013)

Tarkasteltaessa aurinkokeräinten tuotantohintaa ja investoinnin takaisinmaksuaikaa, voidaan todeta, että moniin pientaloihin olisi kannattavaa asentaa aurinkolämpöjärjestelmä. Suomen sääoloissa oikein mitoitetuilla aurinkokeräimillä saadaan merkittävä osa lämpimästä käyttövedestä huhtikuun lopusta syyskuun alkuun. Etenkin jos lämmin käyttövesi lämmitetään sähköllä – niin kuin pientaloissa usein tehdään – on takaisinmaksuaika noin 5–10 vuotta. Mikäli talossa on kaukolämpö, ilma-, vesi- tai maalämpö-

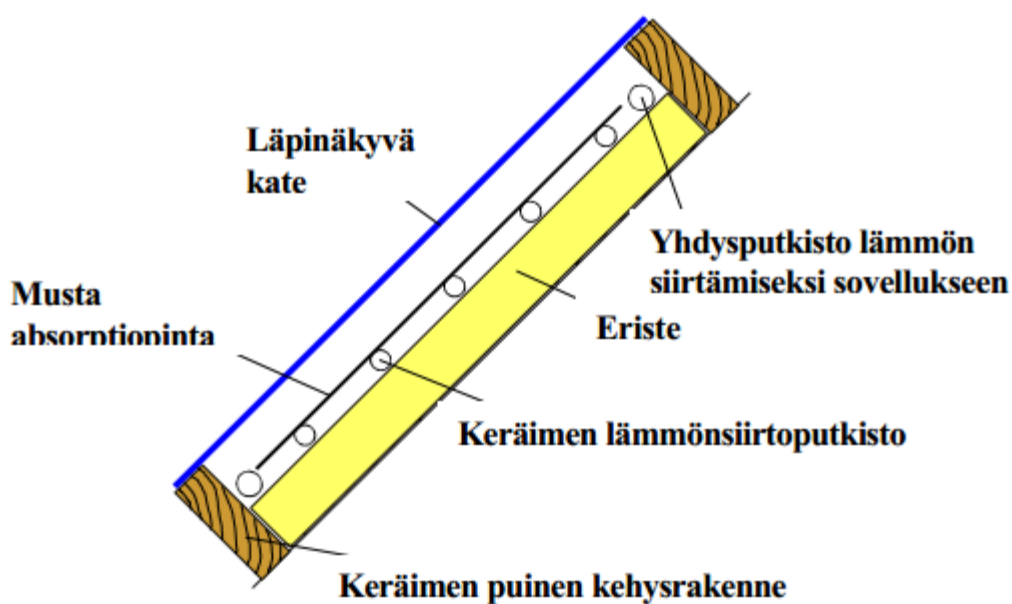
pumppu, on takaisinmaksuaika hieman pidempi. Aurinkolämmön mahdollisia käyttösovelluksia ovat muun muassa lämmin käyttövesi asuintaloissa, mökeillä sekä maatiloilla, pesutilojen lattialämmitys, mökin kuivana pito sekä uima-altaiden veden lämmitys. Tällä hetkellä Suomen suurin yksittäinen julkinen rakennus, johon tuotetaan lämpöä ja sähköä auringosta, on Porin uimahalli, joka valmistui syyskuussa 2011. Aurinkokeräimillä tuotetaan lämpöenergiaa noin 120 000 kWh vuodessa, joka kattaa noin 5 % uimahallin vuotuisesta lämmöntarpeesta. Tämän lisäksi rakennuksessa on 360 neliömetriä aurinkosähköpaneelia, jotka tuottavat noin 45 000 kWh sähköä, eli 3 % rakennuksen sähkönenergiatarpeesta. (Vaihdavirtaa 2013, Aurinkolämpö, luettu 2.4.2013; Porin kaupunki 2011, Porin uusi uimahalli käyttää aurinkoenergiaa, luettu 2.4.2013, Motiva 2013, Porin uimahalli, luettu 2.4.2013)

Aurinkolämpöjärjestelmä muodostaa vain osan lämmitysjärjestelmästä. Tämän vuoksi järjestelmän kokonaisuuteen ja auringon energian hyödyntämisen tapaan lämmitysjärjestelmän kokonaisuuden osana on kiinnitettävä huomiota. Keräimien hyötysuhde on parhaimmillaan matalissa käyttölämpötiloissa, siksi koko järjestelmä kannattaa suunnitella matalalämpöjärjestelmäksi. Se, että järjestelmän lämpötila on hyvin matala, ei tarkoita tinkimistä arjen mukavuuksista, kuten lämpimästä huoneilmasta ja käyttövedestä. Matalalämpöjärjestelmä on taloudellinen etenkin käyttöveden esilämmityksessä ja lattialämmityksessä. Omakotitalon aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan niin, että kesällä muut lämmitysjärjestelmät kytketään pois päältä ja kaikki lämmin käyttövesi lämmitetään auringolla. (Ympäristöenergia 2013, Aurinkolämpöjärjestelmät käyttöveden ja kostean tilan lämmityksessä, luettu 6.4.2013)

3.3.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräin on aurinkolämmitysjärjestelmän keskeisin osa, sillä sen avulla auringosta saadaan lämpöenergiaa. Aurinkokeräimen musta pinta (aurinkokeräimen rakenne kuvassa 25.) absorboi auringonsäteilyn ja lämpenee. Lämpöhäviöiden pienentämiseksi mustan absorptiopinnan suojana on läpinäkyvä kate ja absorptiopinnan alla on noin 60 mm paksu eristelevy. Absorptiopinnassa syntynyt lämpö johdetaan siihen liitettyssä putkistossa virtaavan nesteen (yleensä vesi-glykoliseos) avulla varaajaan. Varaajasta lämpö siirtyy lämmönvaihtimen kautta suoraan lämpimään käyttöveteen tai talon lämmitysjärjestelmään. Aurinkolämmitystä varten lämminvesivaraajassa on oltava tilaa lämmönja-

ko- ja aurinkokeräinpiirien lämmönsiirtimille. Järjestelmän toimintaa ohjataan ohjausyksiköllä. Mikäli käyttövesi lämmitetään varaajassa lämmönsiirtimillä, käytetään painestamatonta varaajaa. Jos käyttövesi otetaan suoraan varaajasta, tällöin tulee käyttää paineistettua varaajaa. Putkiyhteydet ja lämmönsiirtimet tulee sijoittaa tarkasti, jotta varaajan yläosan lämmin vesi ja alaosan kylmä vesi eivät sekoittuisi. (Peter Lund, Solpros 2000, Aurinkolämmön itserakennusopas, luettu 4.4.2013; Motiva 2011, Aurinkokeräimet, luettu 4.4.2013)



Kuva 22. Aurinkokeräimen rakenne.

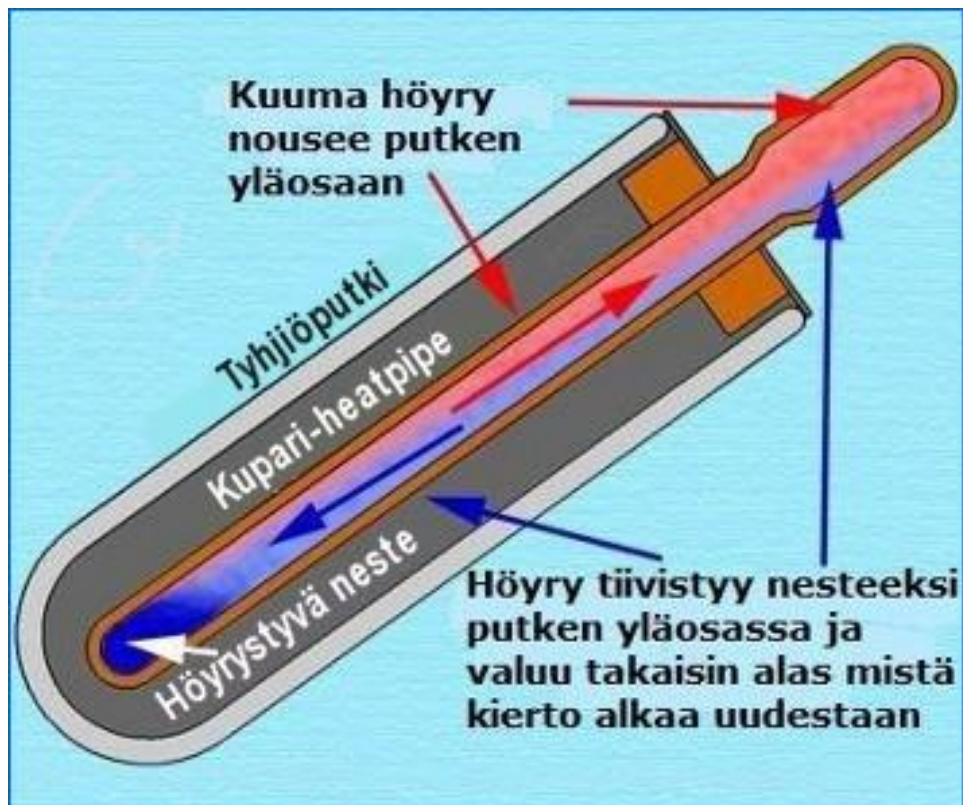
(<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF> liitetty 4.4.2013)

Tavallisesti aurinkokeräimet ovat pinta-alaltaan 1-2 m². Yhden neliömetrin keräin tuottaa energiaa yleensä noin 250–400 kWh vuodessa. Tyhjiöputkikeräimet tuottavat tavallisia keräjiä enemmän energiaa, koska ne pystyvät hyödyntämään auringon hajasäteilyä tehokkaammin (tyhjiöputkikeräimistä tarkempaa tietoa luvussa 3.3.2), mutta tyhjiöputkikeräimet ovat myös tavallisia aurinkokeräimiä kalliimpia. Aurinkokeräimillä tuotetun energian rahallinen arvo käytetystä vertailuenergian hinnasta riippuen on vuodessa noin 20–30 euroa neliömetrin kokoista keräijää kohden. Pientaloon sopiva 8-12 neliömetrin järjestelmä maksaa tällä hetkellä asennuksen hinta mukaan lukien noin 4000–5000 euroa. Yhteishankinnalla tai tekemällä osan asennustyöstä itse, voidaan kustannuksia alen-
taa. Valtiolta voi hakea myös kotitalousvähennystä järjestelmän asennustyöstä, jos sen tekee ammattilainen, mutta muita tukia kotitaloudet eivät vielä valtiolta saa aurinkoläm-

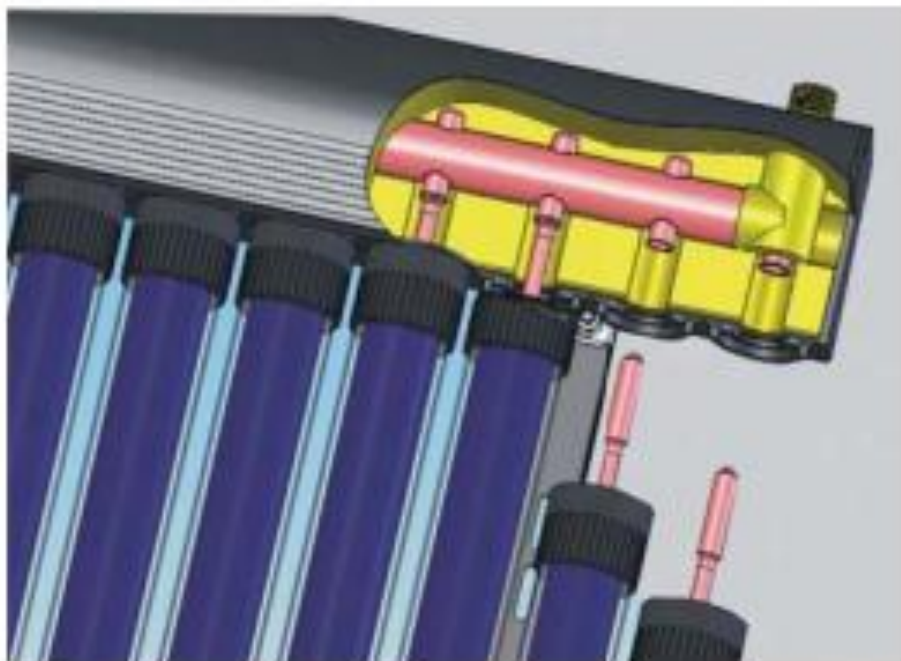
pöjärjestelmän hankintaan. Yritykset saavat asennuskustannukset takaisin valtion antaman syöttötariffin kautta. (Motiva 2011, Aurinkokeräimet, luettu 4.4.2013)

3.3.2 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimet muuttavat auringon säteilyn lämpöenergiaksi, aivan kuten tasokeräimetkin, laitteiden rakenne vain eroaa toisistaan. Tyhjiöputkikeräimissä on kahden lasin välissä tyhjiö, joka toimii erinomaisena lämpöeristeenä. Tämän vuoksi ne toimivat myös kylmässä säässä, kunhan vain aurinko paistaa. Tyhjiöputkikeräimiä on kahdenlaisia, U-pipe ja Heat-pipe. Molemmissa tyypeissä sisimmässä putkessa oleva pinnoite absorboi auringon säteilyn tehokkaasti muuntaen sen lämpöenergiaksi. Lämpötila nousee 150 celsius asteeseen ja joissain malleissa jopa 250 celsius asteeseen. Vaikka sisäpinta onkin todella kuuma, lasiputken ulkopinta on täysin käsin kosketeltavissa. U-pipessa lämpö siirtyy alumiinilevyjen välityksellä putkien sisällä oleviin kupariputkiin ja sieltä putkien sisällä kiertävään nesteeseen. Heat-pipessa auringonsäde läpäisee uloimman lasiputken ja osuu ohueen tummaan lämpöä absorboivaan kalvoon, joka sijaitsee sisemmän lasiputken pinnalla. Lasiputkien välissä on tyhjiö, joka estää tehokkaasti lämpöhäviöt. Lämpö johtuu tummasta kalvosta alumiinilevyjen välityksellä suljettuun ”heat pipe” – kupariputkeen, jonka sisällä oleva neste höyrystyy (kuva 26.). Kuuma höyry nousee ”heat pipe” – putken laajennettuun yläosaan, jossa se luovuttaa lämpöä jakotukissa kiertävään lämmönsiirtonesteeseen (vesi-glykoli-seokseen). Kuuma höyry joutuu kosketuksiin lämmönsiirtonesteen viilentämän putken yläosaan ja höyry jäähtyy. Silloin höyry tiivistyy takaisin nestemäiseen muotoon ja valuu takaisin heat pipe -putken alaosaan, jossa se alkaa taas uudelleen lämmitä. Kierto toistuu niin pitkään kuin aurinko paistaa. Tyhjiöputkien liitäntä jakotukkiin tapahtuu niin sanotulla kuivaliitoksella (kuva 27.), tämän ansiosta esimerkiksi viallinen putki voidaan helposti vaihtaa tyhjentämättä siirtonestettä koko järjestelmästä. (Energiaa Auringosta Oy 2013, Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate luettu 4.4.2013; Nova future oy 2013, Aurinkoenergiaa veden lämmitykseen, luettu 4.4.2013; JTV-Energia 2013, Heat-Pipe – tyhjiöputkikeräimet, luettu 4.4.2013)

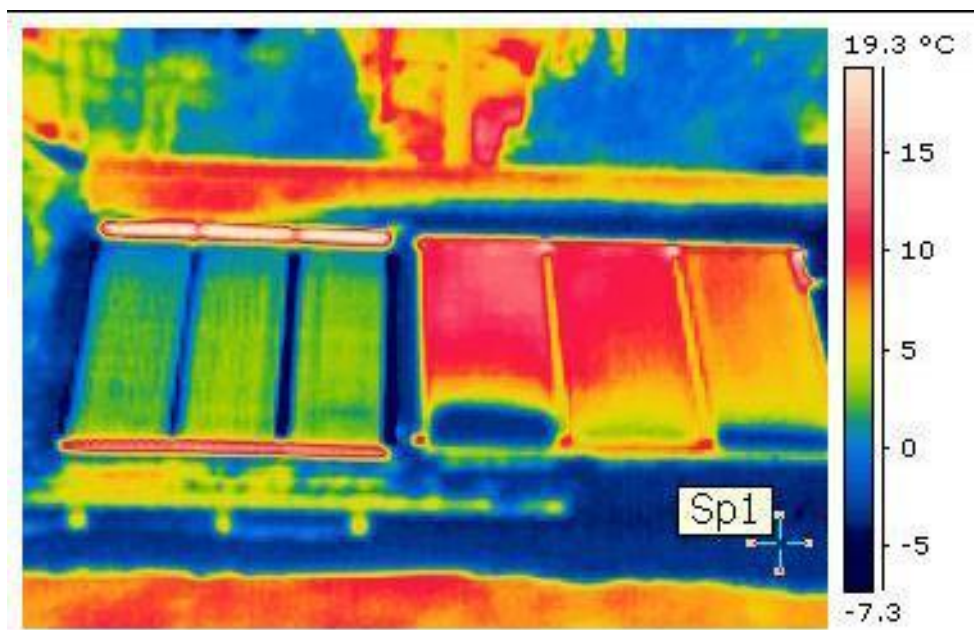


Kuva 23. Heat pipe -tyhjiöputkikeräimen rakenne ja toiminta. (<http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate> liitetty 4.4.2013)



Kuva 24. Heat pipe -tyhjiöputkien liitäntä jakotukkiin. (<http://novafuture.fi/images/energia.pdf> liitetty 6.4.2013)

Tyhjiöputkitekniikasta on hyötyä varsinkin kevättalvella ja syksyllä, eli vuodenaikoina jolloin aurinko paistaa vähemmän, mutta energiaa tarvitaan enemmän. Tyhjiöputkikeräin voi tuottaa noin 30 % enemmän energiaa neliötä kohden kuin tasokeräin, koska tyhjiöputkitekniikan avulla pystytään hyödyntämään muun muassa hajasäteilyä tehokkaammin kuin tavallisten tasokeräimien avulla. Etelä-Suomessa tyhjiöputkikeräimellä saadaan lämpöä helmikuusta marraskuuhun. Jos järjestelmä mitoitetaan tehokkaamaksi kuin on tarve, putket voidaan asentaa myös pystyasentoon. Silloin kesäaikainen teho pienenee, mutta se riittää kuitenkin kattamaan kesällä tarvittavan kulutuksen. Jos tyhjiöputkikeräimet ovat pystyasennossa, saadaan puolestaan alkukevällä ja syksyllä enemmän tehoa, jolloin aurinko paistaa matalammalta. Tyhjiöputkien toiminnasta lumisissa olosuhteissa on vielä melko vähän kokemusta, mutta Keski-Euroopassa niitä on kuitenkin ollut käytössä myös lumisilla alueilla. Suuria ongelmia ei vielä ole ilmennyt, vaikka tyhjiöputkien pintalämpötila ei nouse tarpeeksi korkealle, että lumi sulaisi pois putkien pinnalta, kuten tasokeräimissä (kuva 28.). Tyhjiöputkikeräimet voidaan kuitenkin asentaa myös pystyasentoon, jolloin lumi valuu helpommin pois ja ongelmilta vältetään. On kuitenkin mahdollista, että niiden päältä on lumet poistettava manuaalisesti, jotta energiantuotanto jatkuisi. Tyhjiöputket kannattaa siis asentaa paikkaan, johon pääsee helposti. Tyhjiöputkijärjestelmän rakentaminen tulee tasokeräinjärjestelmää kalliimmaksi, joten asennus pyritään tekemään niin, että siitä saadaan paras hyöty irti. Ennen tyhjiöputkikeräinten hankintaa kannattaa varmistua siitä, että aurinko paistaa katolle myös matalla ollessaan (alkukevät sekä loppusyksy). Jos tontin ympärillä on korkeita puita, saattaa aurinko päästä paistamaan katolle riittävästi vasta huhtikuussa. Tällöin hyöty, joka tyhjiöputkikeräimistä voitaisiin saada, jää pienemmäksi. (Motiva 2012, Tyhjiöputkikeräimet, luettu 4.4.2013)

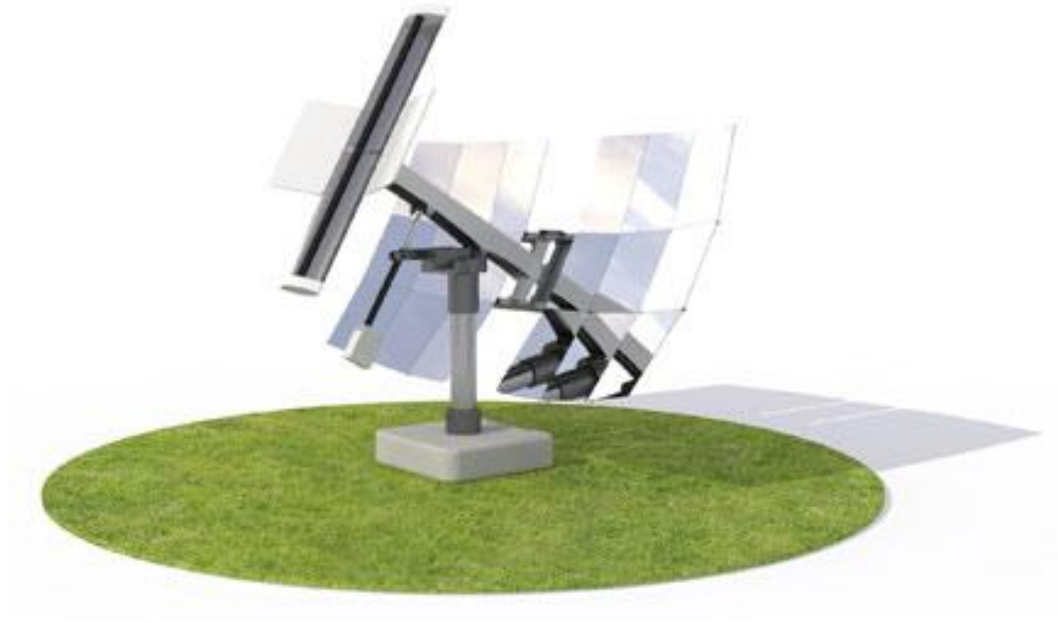


Kuva 25. Lämpökuva, jossa vasemmalla on kolme tyhjiöputkikeräintä ja oikealla kolme tasokeräintä. Tyhjiöputkikeräin näyttää viileämmältä, koska se päästää ulospäin hyvin vähän energiaa ja sisälle jäävä energia kerätään talteen.

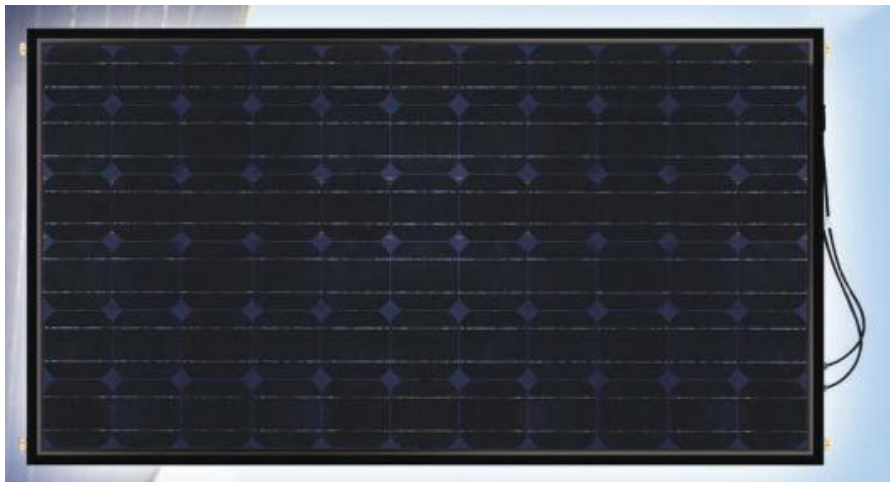
(<http://www.suomenekotalot.fi/index.php/aurinko/aurinko2> liitetty 6.4.2013)

3.3.3 Hybridikeräimet

Hybridikeräimiksi kutsutaan sellaisia aurinkokeräimiä, jotka tuottavat samaan aikaan aurinkosähköä ja – lämpöä. Niitä on rakenteeltaan monenlaisia, osassa käytetään esimerkiksi peilejä keskittämään auringonsäteilyä (kuva 29.) ja osassa on samassa paneelissa sekä sähkö- että lämpökeräinosat (kuva 30.). Perinteisten aurinkosähköpaneelien hyötysuhde on vain noin 10–15 % ja loppu energia muuttuu lämmöksi, jota ei normaalisti hyödynnetä. Hybridikeräin hyödyntää tämän lämmön siirtäen sen esimerkiksi käyttöveteen, perinteisen tasokeräimen tavoin. Sähköpaneelin lämpötilan noustessa sen teho laskee jopa 0,5 % jokaista astetta kohden. Kuumana kesäpäivänä laitteen lämpötila voi nousta jopa lähelle sataa astetta. Hybridipaneelissa sähköntuotto ei vähene lämpötilan noustessa, koska lämpö johdetaan aurinkosähköpaneelistä pois. (Nova Future Oy 2013, Hybridikeräin, luettu 9.4.2013)



Kuva 26. Keskittävä Matarinki light 5.3. hybridikeräin, joka hyödyntää optimaalista suuntausta. (<http://miljonytta.se/byggnader/energieffektiv-vandning-mot-solen/> liitetty 9.4.2013)



Kuva 27. Tasorakenteinen hybridikeräin (Nova Future), joka kerää aurinkosähköä ja – lämpöä. (http://novafuture.fi/images/hybridi_netti.pdf otettu 9.4.2013)

4 Tampereen ammattikorkeakoulun uusiutuvan energian järjestelmät

Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) Kuntokadun kampukselle rakennettiin energia- ja ympäristötekniikan oppimisympäristö ”Opi enempi” –hankkeen yhteydessä vuonna 2010. Hanketta rahoitti EAKR (Euroopan aluekehitysrahasto). TAMKin Kuntokadun kampuksella sijaitsevan I-talon remontin yhteydessä rakennettuihin uusiin laboratorioihin saneerattiin oppimisympäristö, jonka tavoitteena on kouluttaa TAMKin tekniikan koulutusohjelmissa monialaisia uuden energia- ja jätevesiteknologian osaajia yrityksille sekä kunnille. TAMKissa tuotetaan sähköä ja lämpöä tuuli- ja aurinkoenergialla, lämmitetään maalämmöllä, vähennetään vesistöjen ravinnekuormaa käyttämällä vakuumi- ja kuivakäymälöitä sisätiloissa, sekä käsitellään harmaita vesiä kasvipuhdistamolla. Uuden oppimisympäristön avajaisia vietettiin 2010. Vielä keväällä 2013 laitteistoa ei ole otettu opetuskäyttöön kuin osittain, eikä kaikille laitteille ole vielä edes mitään hyötykäyttöä. (TAMK 2010, Opi enempi, luettu 13.4.2013)

4.1 Pystyasentoinen pientuulivoimala

Tampereen ammattikorkeakoululla on Cypress Wind Turbines Oy:n valmistama pystyasentoinen 650W:n pientuulivoimala (CWT-301BR 650 W) (kuva 31.), joka on kytketty itsenäiseen akkujärjestelmään. Tuulivoimala on sijoitettu I-talon katolle, joka ei ole kuitenkaan tuulivoimalle paras mahdollinen sijoituspaikka, sillä muut rakennukset estävät tietyistä ilmansuunnista tulevat tuulet. Tämän takia tuuli ei ole aina edes vaadittua 3 m/s ja tuulivoimala ei silloin pyöri, eikä siis tuota sähköä. Akkujärjestelmää ei käytetä tällä hetkellä mihinkään. On suunniteltu, että akkujärjestelmästä otettaisiin sähköä valaistukseen, jolla valaistaisiin TAMKin pientuulivoimaloita. Tämä hanke on kuitenkin tällä hetkellä odotustilassa. Olisi tärkeää, että akkujärjestelmä otettaisiin pian johonkin käyttöön, sillä nyt tuulivoimala on vain koristeena ja akut kärsivät kun niihin tulee koko ajan lisää virtaa, mutta niitä ei tyhjennetä lainkaan. Tuulivoimalan tarkemmat tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2. Laitteiston sähköiset komponentit (generaattori ja akuston ohjauslaite) ovat käytettävissä laboratoriossa.



Kuva 28. Cypress Wind Turbines Oy:n CWT-301BR 650 W pystyasentoinen pientuuli-voimala. (<http://opienempi.projects.tamk.fi/index.php?id=3> liitetty 13.4.2013)

Taulukko 2. Cypress Wind Turbines Oy:n CWT-301BR 650 W pysty akselisen pientuuli-voimalan tekniset tiedot

Lapojen korkeus	3,9 m	
Lapojen kierähdyshalkaisija	1,4 m	
Käynnistysnopeus	20 rpm	Tuulen nopeus 3 m/s
Nimellinen nopeus	200 rpm	Tuulen nopeus 18 m/s
Maksiminopeus	400 rpm	Tuulen nopeus 30 m/s
Nimellinen gen. teho	2 kW	

4.2 Vaaka-asentoinen pientuulivoimala

TAMKin I-talon päädyssä sijaitseva vaaka-asentoinen 3-lapainen pientuulivoimala, joka syöttää yleiseen sähköverkkoon 3,5 kW:n tehon, on Sonkyo Energy Windspot 3.5kW (kuva 32.). Järjestelmässä on ABB:n 3-vaiheinen verkkoliitäntäinvertteri. Tuulivoimalassa on yhdeksän metriä korkea masto. Paikassa johon tuulivoimala on Tampereen

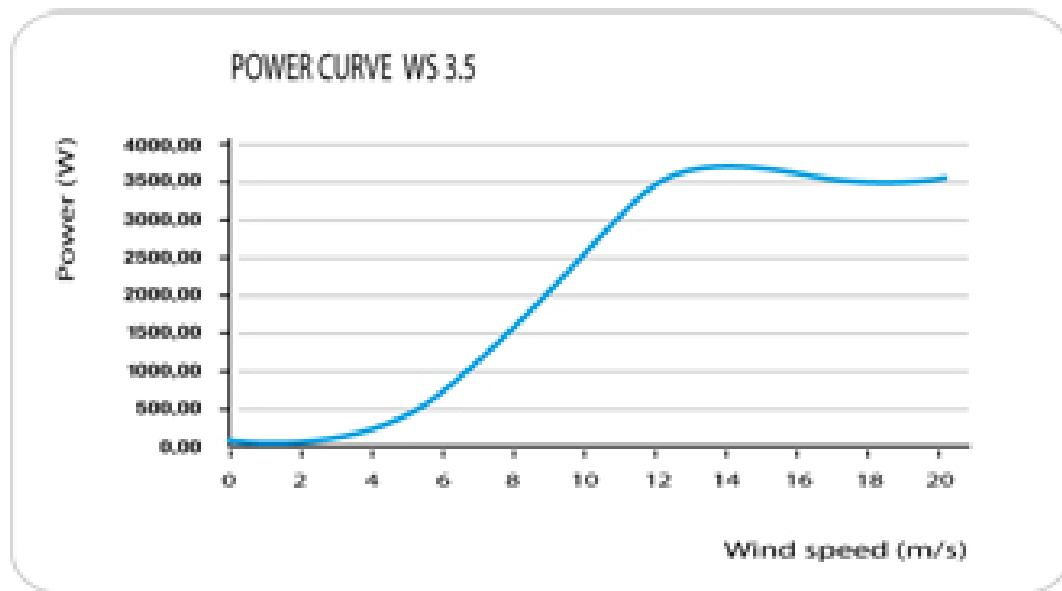
ammattikorkeakoulun pihassa sijoitettu, ei ole paras mahdollinen sijoituspaikka tuuli-voimalalle, koska rakennukset estävät tietyistä ilmansuunnista tulevat tuulet. Tästä syystä se ei aina edes pyöri ja tällöin se ei myöskään tuota sähköä. Siksi tuulimyllystä saatava teho ei tällä hetkellä ole kovin hyvä. Alla olevasta taulukosta (taulukko 3.) näkyy tuulimyllyn tarkemmat tekniset tiedot. Kuviosta 9. näkyy tuulimyllyn sähkön tuotto eri tuulennopeuksilla. Tampereella keskituulennopeus on vain noin 5 m/s, eli tuolloin sähköntuotto on alle 500 W. Taulukosta 4. näkyy kestopäinnettögeneraattorin tarkemmat tekniset tiedot.



Kuva 29. Sonkyo Energy Windspot 3,5 kW -pientuulivoimala. (<http://tamk-blogi.blogspot.fi/2011/04/ekoteko.html> liitetty 13.4.2013)

Taulukko 3. Sonkyo Energy Windspot 3,5 kW -pientuulivoimalan tekniset tiedot.

Roottorin halkaisija	4,05 m
Käynnistymisnopeus	3 m/s
Nimellisa nopeus	12 m/s
Tyyppi	Vaaka-asentoinen roottori
Generaattori	Synkroninen, kestopagneetit; 24–48–110–220 V, 50/60 Hz
Sivuttaisliikkeenohjaus	Peräsimellä
Jarru	Sähköinen
Ääni	37 dB 60 metrin päästä tuulenno- peuden ollessa 8 m/s



Kuvio 9. Sonkyo Energy Windspot 3,5 kW –pientuulivoimalan sähkön tuotto eri tuulennopeuksilla. (<http://usa.windspot.es/home-wind-turbines/products/89/windspot-35-kw> liitetty 13.4.2013)

Taulukko 4. Generaattorin tekniset tiedot

3 vaiheinen kestopagnetoitu generaattori			
Teho = 3,5 kW			
Taajuus = 42 Hz	Kierrosluku = 252 rpm	Jännite (vaihtosäh- kö) =320 V(AC)	Virta = 7A

Pientuulivoimalan verkkolaitteisto toimii kahdella taajuusmuuttajalla. Toinen taajuusmuuttaja muuttaa generaattorilta saadun vaihtojännitteen tasajännitteeksi ja toinen taajuusmuuttaja muuttaa tasajännitteen verkkoon sopivaksi 400 V / 50 Hz jännitteeksi. Taajuusmuuttajat on kytketty toisiinsa tasajännitevälipiirin välityksellä. Kuvasta 33. näkyvät taajuusmuuttajat, sekä niiden laitteisto. Kuvassa 33. numerot tarkoittavat seuraavia laitteita: 1. easyrele (ohjelmoitava suojarele), 2. generaattoripuolen taajuusmuuttaja 3. verkkopuolen taajuusmuuttaja 4. L-suodatin 5. LC-suodatin 6. generaattorin taajuusmittain 7. suojarele. (Antti Järvinen 2012, Pientuulivoiman ominaisuudet, luettu 18.4.2013)

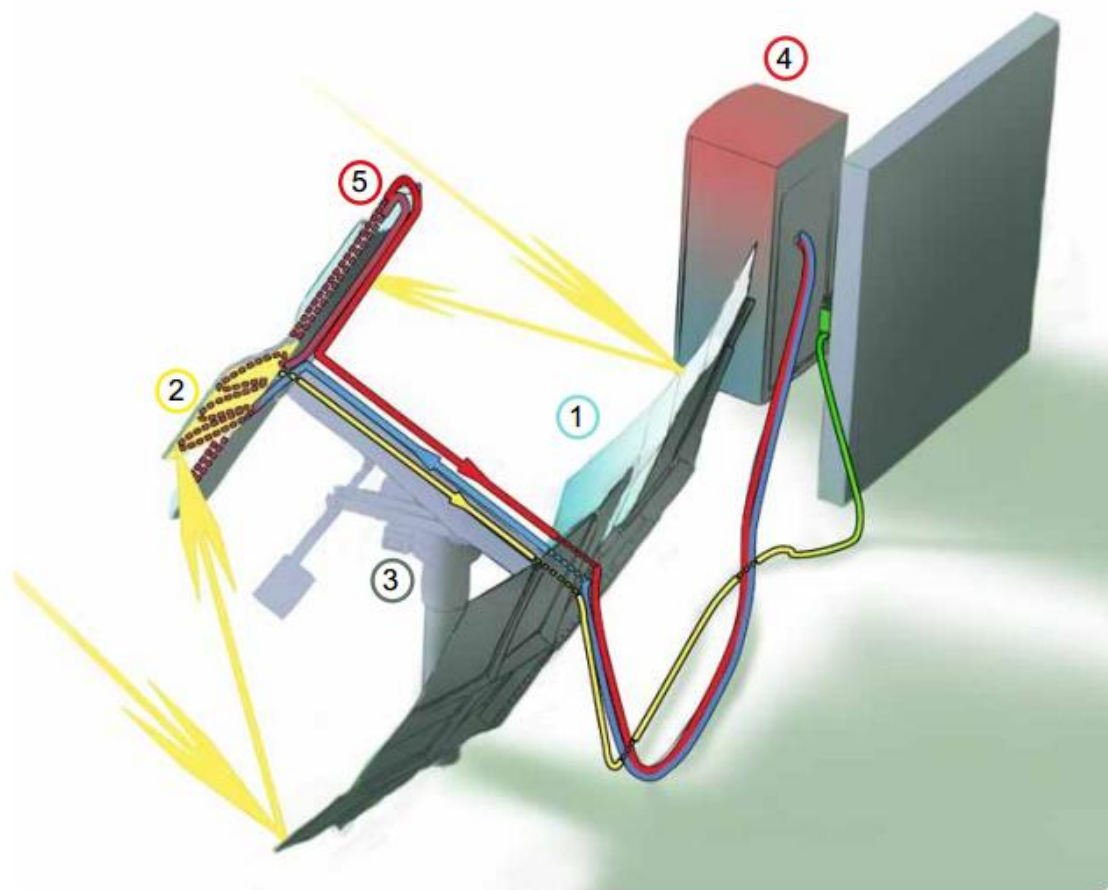


Kuva 30. Taajuusmuuttajat ja niiden laitteisto. (Antti Järvinen, pientuulivoiman ominaisuudet, liitetty 18.4.2013)

Pientuulivoimalan ja sen laitteiston sähkön laadusta on tehty mittauksia, jotka paljastavat, että laitteiston verkkoon syöttämän sähkön taajuus vaihtelee 46,5 Hz ja 53,2 Hz välillä. Enimmäkseen taajuus on kuitenkin lähellä 50 Hz. Prosentuaalisesti taajuus vaihtelee välillä $\pm 6-8 \%$. Normaali sähkön laatu sallii taajuudelle 1 % vaihtelun, joten siitä jäädään selvästi. (Antti Järvinen, pientuulivoiman ominaisuudet, luettu 18.4.2013)

4.3 Hybridikeräin

Matarenki Light 2.6 on auringonsäteilyä keskittävä hybridikeräin, jonka arvioitu sähköteho on noin 260W ja lämpöteho noin 2400 W. Matarenki Light 2.6. on protomalli ja sitä ei myydä eikä valmisteta enää. Sen tilalle on tullut kehittyneempi versio Matarenki Light 5.3. Laitteiden rakenne on samantyyppinen, 2.6 vain on hieman pienempi ja puolet tehottomampi kuin 5.3. Kuvasta 34. näkyy hybridikeräimen rakenne. Matarenki Light 2.6 –hybridikeräin on tällä hetkellä korjattavana, sillä sen heijastinpinnat ovat irronneet. Jää nähtäväksi saadaanko sitä ikinä käyttöön Tampereen ammattikorkeakoulussa. Tällä hetkellä ei olla myöskään varmoja siitä, toimiko laitteen suuntausjärjestelmä koskaan, joten senkin toiminta pitää testata, jos heijastinpinnat saadaan korjattua. Matarenki Light 2.6:lla ei ole tällä hetkellä käyttöä TAMK:issa (vaikka se olisikin ehjä) ja sille täytyisi keksiä joku hyvä käyttötarkoitus. Yksi käyttötarkoitus voisi olla kasvihuoneen lämmityksen- ja sähköntuotto. (Global Sun Engineering 2013, Product, luettu 19.4.2013; Global Sun Engineering 2013, Matarenki Light 5.3. –esite, luettu 19.4.2013)



Kuva 31. Matarinki Light keskittävän hybridikeräimen rakenne.
(<http://www.gsesweden.com/images/stories/pdf/folder.pdf> liitetty 19.4.2013)

Matarinki Light –hybridikeräimen rakenne (kuva 34.) ja osat:

- 1) **Heijastinpinnat:** Voimakkaasti heijastavasta peililasista valmistetut heijastinpinnat. Heijastinpinnat keskittävät auringonvalon keräinelementtiin.
- 2) **Keräinelementti:** Keräinelementin pinta on valmistettu yksikiteisistä piikenoista. Keräinelementin sisällä kiertää jäähdytysneste, mikä jäähdyttää elementtiä ja ottaa talteen lämpöenergiaa, sillä keräinelementin lämpötila nousee käytössä hyvin korkeaksi.
- 3) **Seurantalaitteisto:** Kaksiakselinen suuntausjärjestelmä ja valoisuusantureihin perustuva auringon seurantalaitteisto huolehtivat, että hybridikeräin on aina suunnattu optimaalisesti kohti aurinkoa.
- 4-5) **Lämmitysjärjestelmä:** Säteilyenergia, jota ei pystytä muuttamaan sähköenergiaksi otetaan talteen lämpöenergiana lämmitysjärjestelmän avulla. Kylmä vesi tai muu lämmöneriste lähtee lämminvesivaraajasta keräimeen kiertäen ensin aurinkosähkömoduulien kautta. Tällä tavoin saadaan sähköntuotannon kannalta

tärkeimmät osat jäähdytettyä parhaiten. Tämän jälkeen lämmönsiirtoneste virtaa jälkilämmittimeen, jonka jälkeen lämpö siirretään takaisin lämminvesivaraajaan erillisen lämmönsiirtimen kautta. Järjestelmän lämpötilaa säädellään lämmönsiirtonesteen virtausnopeutta muuttamalla. Lämmitysjärjestelmään on saatavilla lisävarusteena absorptiojäähdytin, jolloin lämmitysjärjestelmää voidaan hyödyntää myös jäähdytystarkoituksessa.

(Global Sun Engineering 2013, Matarenki Light 5.3. –esite, luettu 19.4.2013)

4.4 Tyhjiöputkikeräimet

I-talon katolla on kolme kappaletta Northern Nature Energyn valmistamia NSC 22 tyhjiöputkikeräimiä (kuva 35.). Ne ovat heat-pipe –tyhjiöputkikeräimiä ja ne on Solar Keymark -sertifioitu. Keräimien mainosesitteessä kerrotaan niiden keräävän tehokkaasti auringon hajasäteilyä ja hyödyntävän auringon energiaa talvella sekä pilviselläkin säällä. Putket ovat borosilikaattilasasia ja kestävät esimerkiksi rakeita. Alla olevasta taulukosta (taulukko 5.) näkyy keräimien tarkemmat tekniset tiedot. Tällä hetkellä keräimiä käytetään TAMKin kasvihuoneen lämmittämiseen ja tarkoituksena on, että jatkossa aurinkokeräimillä lämmitettäisiin maalämpöpumpun kaivoa. (Northern Nature Energy mainosite 2013, luettu 13.4.2013)



Kuva 32. NSC 22 tyhjiöputkikeräin. (Northern Nature Energyn mainosite, liitetty 13.4.2013)

Taulukko 5. Tyhjiöputkikeräin NSC 22 tekniset tiedot.

Mitat	2000 x 1920 x 155	mm
Keräimen max. teho	1295	W
Teho	0,715	η_0
	1,55	k1
	0,0177	k2
Vuosituotto	550	kWh/m ²
Apertuaaripinta-ala	1,79	m ²
Kokonaispinta-ala	3,63	m ²
Max. käyttöpaine	6	bar
Max. käyttölämpötila	220	°C
Nestetilavuus	1,4	litraa
Omapaino	75	kg
Tyhjiöputkien lkm	22	kpl
Konversiokerroin	80	%
Takuu	3	vuotta

4.5 Yhteenveto

Tampereen ammattikorkeakoululla on laadukkaat uusiutuvan energian tuotantolaitteet. Tyhjiöputkikeräimiä käytetään TAMKin kasvihuoneiden lämmitykseen ja jatkossa niillä on tarkoitus lämmittää maalämpöpumpun kaivoa. Vaaka-asentoinen pientuulivoimala tuottaa sähköä suoraan verkkoon ja pystyasentoinen pientuulivoimalan tuottama sähkö kerätään talteen akkujärjestelmään. Akkujärjestelmä on suunniteltu liitettäväksi valaistukseen, jolla valaistaisiin pientuulivoimaloita. Hybridikeräin on tällä hetkellä korjattavana ja vielä ei ole tietoa saadaanko sitä koskaan korjattua. Jos se saadaan korjattua, täytyy sille keksiä jokin hyvä käyttötarkoitus, esimerkiksi se voisi tuottaa sähköä ja lämpöä TAMKin kasvihuoneille.

Uusiutuvan energian järjestelmät ovat osa ”Opi enempi” –hanketta, jonka tarkoituksena on tuoda uusiutuvaa energiaa tutuksi opiskelijoille. Järjestelmiä ei kuitenkaan vielä ole juurikaan käytetty opetustarkoitukseen. Muutaman seuraavan vuoden suuria edistymisaskelia olisikin, että laitteistot saataisiin osaksi opetusta, esimerkiksi laboratoriotyö-

tunneille. Uusiutuva energia on tärkeä osa maapallon tulevaisuutta ja niihin panostetaan koko ajan enemmän resursseja. Tämän takia onkin tärkeää, että oppilaat pääsisivät tutustumaan erilaisiin järjestelmiin. Järjestelmien avulla pystytään tekemään monia erilaisia mittauksia, joiden avulla voidaan laskea kuinka paljon sähköä tai lämpöä pystytään uusiutuvilla energiantuotantotavoilla tuottamaan. Esimerkiksi tyhjiöputkikeräinten lämmöntuottoa voitaisiin vertailla syksyllä, talvella ja keväällä, sekä pysty- ja vaakasuunnassa. Näin selviäisi, milloin ne tuottavat eniten lämpöenergiaa ja mitkä ovat niille parhaimmat sääolosuhteet. Tyhjiöputkikeräimet asennetaan usein osaksi lämpimän käyttöveden järjestelmää ja siksi sen tutkiminen olisi tärkeää esimerkiksi LVI-alan opiskelijoille.

Järjestelmien käyttöä on arvioitu noin 20–25 vuotta, joten niistä on hyötyä Tampereen ammattikorkeakoululle vielä useita vuosia. Vaikka tällä alalla laitteet kehittyvätkin nopeaa tahtia, voi näitä laitteita käyttää osana opetusta vielä pitkään, sillä auringon ja tuulen potentiaali ei tule seuraavien kymmenien vuosien aikana muuttumaan. Tämän ansioista laitteiston avulla tehtävistä mittauksista saatavia tietoja voidaan käyttää hyödyksi koko niiden käyttöajan ajan, vaikka ne eivät ottaisiikaan energiaa talteen yhtä tehokkaasti kuin modernimmat laitteet.

5 POHDINTA

Tässä työssä selvitettiin mitä uusiutuva energia tarkoittaa ja mikä on Suomen energiastrategia. Työssä käytiin läpi miten auringosta ja tuulesta voidaan tuottaa energiaa ja perehdytään erilaisiin järjestelmiin, joilla energiaa voi kerätä. Lisäksi tutkittiin, mitkä mahdollisuudet Suomessa on hyödyntää aurinko- ja tuulienergiaa. Työssä tarkasteltiin myös Tampereen ammattikorkeakoulun uusiutuvan energian järjestelmiä ja pohdittiin mikä on niiden tämänhetkinen tila ja käyttötarkoitus, sekä mitä niillä mahdollisesti tulevaisuudessa voitaisiin tehdä.

Uusiutuvaa energiaa käytetään energian tuotannossa aina vain enemmän ja sen osuus tulee lähitulevaisuudessa kasvamaan entisestään. Uusia ratkaisuja sekä tekniikoita kehitetään jatkuvasti ja sitä myötä laitteiden hyötysuhteet myös kehittyvät. Uusiutuvasta energiasta yritetään kehittää ratkaisua energiantuotanto-ongelmiimme ja hillitsemään ilmastonmuutosta. Useat valtiot tukevat yrityksiä ja kotitalouksia uusiutuvan energian järjestelmien asentamisessa taloudellisesti ja se onkin lisännyt järjestelmien käyttöä. Suomen valtio ei vielä tue kotitalouksia uusiutuvien energiajärjestelmien asennuksessa, mutta siihen yritetään tehdä muutos lähivuosina. Tällä tavoin pyritään kannustamaan kansalaisia panostamaan ekologiseen elämäntapaan. Yritykset voivat saada jo nyt rahoitusta valtiolta uusiutuvan energian käyttämisestä syöttötariffijärjestelmän avulla.

Aurinko- ja tuulienergian avulla pystytään tuottamaan jo hyvin sähkö- ja lämpöenergiaa, vaikka laitteistojen hyötysuhteet eivät vielä olekaan kovin korkeat. Aurinkopaneelien sekä tuulivoimaloiden avulla voidaan tuottaa osa tai jopa koko rakennuksen sähköenergia ja niitä käytetäänkin jo usein kesämökeillä esimerkiksi valaistuksen energianlähteenä. Myös asuinrakennusten, julkisten rakennusten sekä liikekiinteistöjen rakentamisen yhteydessä pyritään usein liittämään sähköjärjestelmään omavarainen sähkön tuottamisjärjestelmä. Aurinkokeräimiä suositellaan asentamaan osaksi lämpimän käyttöveden järjestelmää ja niiden käyttäminen onkin yleistynyt. Aurinkolämpöjärjestelmällä pystytään Suomessa tuottamaan taloudellisesti noin 10 % koko rakennuksen lämpöenergian tarpeesta, jos se asennetaan osaksi lämpimän käyttöveden järjestelmää. Suosituin aurinkolämpökeräin-malli on tyhjiöputkikeräin, sillä sen ominaisuudet ovat tällä hetkellä kaikkein parhaat. Tuulivoimassa kolmilapainen vaaka-asentoinen tuulivoimala on käytetyin malli suurtuulivoimaloissa. Pientuulivoimaloissa käytetään sekä vaaka-, että pystyasentoisia tuulivoimaloita, riippuen käyttötarkoituksesta sekä sääolosuhteista.

Tampereen ammattikorkeakoululla on laadukkaat uusiutuvan energian tuottamislaitteet. Vaaka-asentoinen pientuulivoimala tuottaa sähköä suoraan verkkoon ja pystyasentoisen pientuulivoimalan tuottama sähkö kerätään talteen akkujärjestelmään. Tyhjiöputkikeräimiä käytetään TAMKin kasvihuoneiden lämmitykseen ja jatkossa niillä on tarkoitus lämmittää maalämpöpumpun kaivoa. Hybridikeräin on korjattavana ja vielä ei ole tietoa, saadaanko sitä koskaan käyttöön. Tällä hetkellä tärkein tavoite näiden järjestelmien suhteen on saada ne osaksi opetusta. On tärkeää, että opiskelijoille opetetaan uusiutuvien energioiden käyttöä ja tutustutaan niiden tuomiin mahdollisuuksiin, sillä ne ovat tärkeä osa tulevaisuuttamme. Järjestelmillä voidaan tehdä useita erilaisia mittauksia, joiden avulla voidaan kartoittaa erilaisten uusiutuvien energialähteiden käyttömahdollisuuksia.

Tälle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin suunnitellusti, sillä työssä on kattava selvitys miten, missä ja millaisilla järjestelmillä Suomessa voidaan tuottaa energiaa auringon ja tuulen avulla. Työssä on myös käsitelty, mitä aurinko- ja tuulienergiajärjestelmiä TAMKilla on käytössään ja mihin niitä käytetään.

LÄHTEET

Antti Järvinen. 2013. Pientuulivoiman ominaisuudet. Luettu 18.4.2013.

Aurinkoenergia.fi. 2013. Aurinkoenergia. Luettu 8.4.2013.
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia>

ECO2-foorumi. 2012. Tampere – vihreän ja älykkään liiketoiminnan alusta. Luettu 2.1.2013. <http://www.eco2.fi/news/126/19/ECO2-foorumi-Tampere---vihreaen-ja-aelykkaeen-liiketoiminnan-alusta.html>

Energia Auringosta Oy. 2013. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Luettu 4.4.2013. <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>

Flinck Jari-Pekka. 2009. Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet Nurmi-Sorilan alueen suunnittelussa. Luettu 11.4.2013.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6555/flinck.pdf?sequence=3>

Global Sun Engineering. 2013. Matarenki Light 5.3 -esite. Luettu 19.4.2013.
<http://www.gsesweden.com/images/stories/pdf/folder.pdf>

Global Sun Engineering. 2013. Product. Luettu 19.4.2013.
http://www.gsesweden.com/index.php?option=com_content&view=article&id=119:product&catid=38:product&lang=sv

Helsingin teknillinen yliopisto. 2013. Aurinkosähkö. Luettu 1.4.2013.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/index.html>

Helsingin teknillinen yliopisto. 2013. Aurinkosähköteknologiat. Luettu 31.3.2013.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>

Helsingin teknillinen yliopisto. 2013. Minne aurinkoenergia soveltuu? Luettu 1.4.2013.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-minne.html>

Helsingin teknillinen yliopisto. 2013. Miten aurinkokenno toimii? Luettu 30.3.2013.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html>

Ilmasto-opas. 2013. Tuuli- ja aurinkoenergia energialähteinä. Luettu 11.2.2013.
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/83fa215b-3f3d-4b48-9456-ce3a5940e830/tuuli-ja-aurinkoenergia.html>

Ilmasto-opas. 2013. Uusiutuva energia Suomessa. Luettu 5.2.2013. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html>

Ilmatieteenlaitos. 2013. Tuulet ja myrskyt. Luettu 3.3.2013.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

JTV-Energia. 2013. Heat-Pipe –tyhjiöputkikeräimet. Luettu 4.4.2013. <http://www.jtv-energia.fi/HP-kerain.html>

Kallioharju Kari. 2012. Aurinkoenergian perusteet ja aurinkosähköjärjestelmät luentomateriaali. Luettu 11.4.2013.

Motiva. 2011. Aurinkokeräimet. Luettu 4.4.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet

Motiva. 2012. Aurinkolämpö. Luettu 2.4.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo

Motiva. 2013. Aurinkosähkö. Luettu 30.3.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko

Motiva. 2013. Porin uimahalli. Luettu 2.4.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahkoseuran/porin_uimahalli

Motiva. 2012. Tyhjiöputkikeräimet. Luettu 4.4.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet

Motiva. 2013. Uusiutuva energia. Luettu 22.1.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/

Northern Nature Energy mainosesitys. 2013. Tyhjiöputkikeräin NSC 22. Luettu 13.4.2013.

Nova future oy. 2013. Aurinkoenergiaa veden lämmitykseen. Luettu 4.4.2013.
<http://novafuture.fi/images/energia.pdf>

Nova Future Oy. 2013. Hybridikeräin. Luettu 9.4.2013.
http://novafuture.fi/images/hybridi_netti.pdf

Peter Lund, Solpros. 2000. Aurinkolämmön itserakennusopas. Luettu 4.4.2013.
<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>

Porin kaupunki. 2011. Porin uusi uimahalli käyttää aurinkoenergiaa. Luettu 2.4. 2013.
<http://www.pori.fi/uutiset/2011/09/porinuusiuimahallionkaikenkansanvirkistyskeidas.html>

Suntekno. 2013. Aurinkoenergia. Luettu 8.4.2013.
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>

Tampereen ammattikorkeakoulu. 2010. Opi enempi. Luettu 13.4.2013.
<http://opienempi.projects.tamk.fi/>

Tuuliatlas. 2013. Mitä on tuulivoima? Luettu 12.3.2013.
<http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/index.html>

Tuuliatlas. 2011. Tuuliatlas- tuulitiedot Suomen kartalla. Luettu 12.3.2013.
<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>

Tuuliatlas. 2013. Tuulisuus Suomessa. Luettu 12.3.2013.
<http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html>

Tuuliatlas. 2013. Tuulivoimalan tuulikartat. Luettu 12.3.2013.
<http://www.tuuliatlas.fi/teho/index.html?Month=13&Level=50>

Tuulivoima. 2012. Lauri Hietalahti. Luentomateriaali. Luettu 27.3.2013.

Tuulivoimatieto. 2013. Miksi kolme lapaa? Luettu 28.3.2013.
http://www.tuulivoimatieto.fi/kolme_lapaa

Tuulivoimatieto. 2013. Mitä tuuli on? Luettu 1.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuuli>

Tuulivoimatieto. 2013. Tietoa ostajalle. Luettu 27.3.2013.
http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoja_ostajalle

Tuulivoimatieto. 2013. Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu. Luettu 29.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/toimintaperiaate>

Tuulivoimatieto. 2013. Tuulivoimaloiden rakenne. Luettu 27.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/rakenne>

Tuulivoimatieto. 2013. Tuulivoimaloiden säätötavan mukainen luokitus. Luettu 28.3.2013. <http://www.tuulivoimatieto.fi/saatotapa>

Tuulivoimatieto. 2013. Tuulivoimatekniikka. Luettu 27.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatekniikka>

Tuulivoimatieto. 2013. Tuulivoimatuotanto. Luettu 26.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatuotanto>

Tuulivoimatieto. 2013. Vaaka- ja pysty akseliset turbiinit. Luettu 27.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/pysty akseliset>

Tuulivoimatieto. 2013. Voimaloiden myrskysäätö. Luettu 28.3.2013.
<http://www.tuulivoimatieto.fi/myrskysaato>

Tuulivoimayhdistys. 2013. Tuulivoima. Luettu 26.3.2013.
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2013. Uusiutuvan energian syöttötariffi. Luettu 5.2.2013.
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3256>

Vaihda virtaa. Aurinkolämpö. 2013. Luettu 2.4.2013.
<http://www.vaihдавirtaa.net/page/show/id/aurinkolampo>

Vaihda virtaa. 2013. Aurinkosähkö. Luettu 30.3.2013.
<http://www.vaihдавirtaa.net/page/show/id/aurinkosahko>

Ympäristöenergia. 2013. Aurinkolämpöjärjestelmät käyttöveden ja kostean tilan lämmityksessä. Luettu 6.4.2013. <http://www.y-energia.com/aurinkolampo/aurinkolampo.html>

Kuva 1. Bioenergiassa auringon energia on ensin sidottu yhteyttämisen avulla kasvimassaan ja siitä tuotettu kasvusto käytetään energialähteenä. (<http://ambientalsustentavel.org/2011/avancos-em-bioenergia/> liitetty 17.4.2013)

Kuva 2. Keskimääräisen tuulennopeuden jakauma Euroopassa vuosina 1971–2000. Kuvassa ilmanpainekestästä laskettu geostrofinen tuuli (m/s). (<http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html> liitetty 12.3.2013)

Kuva 3. Vuoden keskimääräinen tuulen nopeus Suomessa 50 metrin korkeudessa. (<http://www.tuuliatlas.fi/teho/index.html?Month=13&Level=50> liitetty 12.3.2013)

Kuva 4. Auringon säteily ilmakehässä ja maanpinnalla. (Kari Kallioharjun luentomateriaali, liitetty 8.4.2013)

Kuva 5. Auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Suomessa 1 kWp aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii hyötysuhteella 0,75 yhden vuoden ajan (kWh/kWp/a), sekä kuinka paljon säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti vuoden aikana (kWh/m²/a). (http://www.genergia.fi/aurinkoenergia_suomessa/ liitetty 8.4.2013)

Kuva 6. Auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Euroopassa 1 kWp aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii hyötysuhteella 0,75 yhden vuoden ajan (kWh/kWp/a), sekä kuinka paljon säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti vuoden aikana (kWh/m²/a). (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_opt/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf liitetty 8.4.2013)

Kuva 7. Kartasta näkee mikä on optimaalinen kallistuskulma eri puolella Eurooppaa. (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/imaps/index.htm>, liitetty 12.4.2013)

Kuva 8. Ylhäällä yksiakselisella suuntauslaitteistolla varustettuja ja alhaalla kaksiakselisella suuntauksella varustettuja aurinkoenergialaitteita. (Kari Kallioharjun luentomateriaali, liitetty 12.4.2013)

Kuva 9. Kuva tuulivoimapuistosta. (<http://www.eltelnetworks.com/fi/Suomi/Infranet-ratkaisut/Eltel-tuulivoima/> liitetty 11.2.2013)

Kuva 10. Tuulivoimapuisto joka sijaitsee merellä. (<http://www.aamulehti.fi/Ulkomaat/1194766172142/artikkeli/tuulivoimala+vastatuulella+hollannissa+rumia+ja+aaneikkaita.html> liitetty 11.2.2013)

Kuva 11. Huoltomies huoltamassa tuulivoimalaa. (<http://bonitoespana.blogspot.fi/2011/11/espanja-tuottaa-60-sahkotuotannostaan.html> liitetty 11.2.2013)

Kuva 12. Tuuliturbiinin rakenne. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatekniikka> liitetty 27.3.2013)

Kuva 13. Tuuliturbiinien muutos vuosien 1980 ja 2009 välisenä aikana. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatekniikka> liitetty 27.3.2013)

Kuva 14. Tuulivoimalan konehuoneen rakenne. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/rakenne> liitetty 27.3.2013)

Kuva 15. Kuppianemometri. (<http://fi.dobizinc.com/item/wireless-wind-speed-and-direction-sensors-one-wind-speed-wind-direction-the-sensor-9784480332.html> liitetty 2.5.2013)

Kuva 16. Savonius-turbiini. (http://www.ecosources.info/en/topics/Savonius_vertical_axis_wind_turbine liitetty 2.5.2013)

Kuva 17. Windside-turbiini. (<http://jussisiitarinen.blogspot.fi/2010/10/omavaraista-energiantuotantoa-windside.html> liitetty 2.5.2013)

Kuva 18. Auringon säteily maapallolla. Mitä tummempi, sitä enemmän säteilyä alueelle tulee. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-minne.html> liitetty 1.4.2013)

Kuva 19. Aurinkokennon toimintaperiaate. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html> liitetty 30.3.2013)

Kuva 20. Yksikiteisestä piistä (vasen) ja monikiteisestä piistä (oikea) valmistettu aurinkopaneeli. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Kuva 21. Ohutkalvoteknologialla valmistettu aurinkopaneeli. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Kuva 22. Nanokideteknologialla valmistettu aurinkopaneeli. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html> liitetty 31.3.2013)

Kuva 23. Satelliitin siivekkeissä on aurinkopaneeleita. (http://yle.fi/uutiset/satelliitti_kestaa_aurinkomyrskyn/5666605 liitetty 31.3.2013)

Kuva 24. Aurinkolämpöjärjestelmä. (<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF> liitetty 6.4.2013)

Kuva 25. Aurinkokeräimen rakenne. (<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF> liitetty 4.4.2013)

Kuva 26. Heat pipe tyhjiöputkikeräimen rakenne ja toiminta. (<http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate> liitetty 4.4.2013)

Kuva 27. Tyhjiöputkien liitäntä jakotukkiin. (<http://novafuture.fi/images/energia.pdf> liitetty 6.4.2013)

Kuva 28. Vasemmalla on kolme tyhjiöputkikeräintä ja oikealla kolme tasokeräintä. Tyhjiöputkikeräin näyttää viileämmältä, koska se päästää ulospäin hyvin vähän energiaa ja sisälle jäävä energia kerätään talteen. (<http://www.suomenekotalot.fi/index.php/aurinko/aurinko2> liitetty 6.4.2013)

Kuva 29. Hybridikeräin, joka hyödyntää optimaalista suuntausta. Matarenki light. (<http://miljonnytta.se/byggnader/energieffektiv-vandning-mot-solen/> liitetty 9.4.2013)

Kuva 30. Hybridikeräin (Nova Future), joka kerää aurinkosähköä ja – lämpöä. (http://novafuture.fi/images/hybridi_netti.pdf liitetty 9.4.2013)

Kuva 31. Pystyasentoinen pientuulivoimala.

(<http://opienempi.projects.tamk.fi/index.php?id=3> liitetty 13.4.2013)

Kuva 32. Sonkyo Energy Windspot 3,5 kW pientuulivoimala. (<http://tamk-blogi.blogspot.fi/2011/04/ekoteko.html> liitetty 13.4.2013)

Kuva 33. Taajuusmuuttajat ja niiden laitteistot. (Antti Järvinen, pientuulivoiman ominaisuudet, liitetty 18.4.2013)

Kuva 34. Matarenki Light keskittävän hybridikeräimen rakenne. (<http://www.gsesweden.com/images/stories/pdf/folder.pdf> liitetty 19.4.2013)

Kuva 35. NSC 22 tyhjiöputkikeräin. (Northern Nature Energyn mainosseite, liitetty 13.4.2013)

Kuvio 1. Suomen uusiutuvien energialähteiden käyttö vuosina 1970 – 2008. Tilastokeskus 2009. (<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html> liitetty 9.2.2013)

Kuvio 2. Energialähteiden vaikutus sähkö- ja lämpöenergian tuotantoon. (Kari Kallioharjun luentomateriaali, liitetty 18.4.2013)

Kuvio 3. Erikokoisten suurtuulivoimaloiden vuosituotto.

(<http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoimatuotanto> liitetty 26.3.2013)

Kuvio 4. Auringonsäteilyn spektri. Säteilyn spektrikoostumus muuttuu ilmakehässä. (Kari Kallioharjun luentomateriaali, liitetty 8.4.2013)

Kuvio 5. Auringosta saatavan energian määrä Euroopan eri kaupungeissa. (http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF liitetty 8.4.2013)

Kuvio 6. Keskimääräiset kuukausittaiset auringonpaistetunnit Sodankylässä ja Helsingissä vuosina 1971–2000.

(<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf> liitetty 8.4.2013)

Kuvio 7. Kuukausittainen auringonsäteilyn määrä Sodankylässä, Jyväskylässä ja Helsingissä vuosina 1971–2000.

(<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf> liitetty 8.4.2013)

Kuvio 8. Tuulivoimalan siipien lukumäärän mukaiset tehokäyrät. (Lauri Hietalahden luentomateriaali, liitetty 28.3.2013)

Kuvio 9. Sonkyo Energy Windspot 3,5 kW –pientuulivoimalan sähkön tuotto eri tuulennopeuksilla. (<http://usa.windspot.es/home-wind-turbines/products/89/windspot-35-kw> liitetty 13.4.2013)